



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**

**FACULTAD DE CIENCIAS**

**CARRERA DE BIOFÍSICA**

**“DETERMINACIÓN DE DOSIS EFECTIVA COMPROMETIDA  
DEL PERSONAL OCUPACIONALMENTE EXPUESTO DEBIDO A  
LA INCORPORACIÓN DE I-131 EN LA UNIDAD DE MEDICINA  
NUCLEAR MEDIANTE EL DESARROLLO DE UNA  
HERRAMIENTA COMPUTACIONAL”**

**Trabajo de titulación:**

**Tipo:** Trabajo Experimental

Presentado para optar por el grado académico de:

**Biofísica**

**AUTORA:** CARMEN CECILIA SIERRA USCA

**DIRECTOR:** DR. RICHAD WILLIAMS PACHACAMA CHOCA

Riobamba – Ecuador

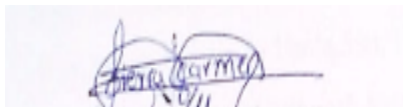
2019

**© 2019, Carmen Cecilia Sierra Usca**

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor.

Yo, **Carmen Cecilia Sierra Usca**, declaro que el presente trabajo de titulación es de mi autoría y los resultados del mismo son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

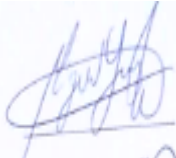


Como autora asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de titulación; El patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo  
Riobamba, 27 de noviembre del 2019



**Carmen Cecilia Sierra Usca,**  
**172512376-2**

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**  
**FACULTAD DE CIENCIAS**  
**CARRERA DE BIOFÍSICA**

El Tribunal del Trabajo de Titulación certifica que: El trabajo de titulación: Tipo: Trabajo Experimental, titulado: **“Determinación de dosis efectiva comprometida del personal ocupacionalmente expuesto debido a la incorporación de I-131 en la Unidad de Medicina Nuclear mediante el desarrollo de una herramienta computacional”**, realizado por la Señorita Carmen Cecilia Sierra Usca, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del Trabajo de Titulación, El mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal Autoriza su presentación.

	<b>FIRMA</b>	<b>FECHA</b>
Biof. Miguel Sáez Msc. <b>PRESIDENTE DEL TRIBUNAL</b>		<b>2019 / 11/ 27</b>
Dr. Richard Pachacama <b>DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN</b>		<b>2019 / 11/ 27</b>
Biof. Fernanda Heredia Msc. <b>MIEMBRO DEL TRIBUNAL</b>		<b>2019 / 11/ 27</b>

**DEDICATORIA**

A mi grandiosa familia por el apoyo incondicional y en especial a mi mamá Ana María Usca y a mi papá Eduardo Gonzalo Sierra, por acompañarme en todos aquellos momentos buenos y malos de mi vida personal y académica.

*Carmen S.*

## **AGRADECIMIENTO**

A Dios por haberme permitido dar éste gran paso en mi vida que tuvo grandes obstáculos, pero una grandiosa satisfacción.

A todo personal del Área de Medicina Nuclear del Hospital Carlos Andrade Marín en la dirección del Dr. Miguel Morán por el apoyo para el desarrollo del presente trabajo de titulación.

A distinguidos maestros: Dr Richard Pachacama, Msc. Fernanda Heredia, Biof. Teresa Altamirano y Phd. Talia Tene, por haber dedicado su tiempo y conocimiento en el desarrollo de este trabajo.

*Por último, quiero agradecer al Ing. Jefferson Toapanta por el conocimiento impartido y el apoyo incondicional durante el proceso de elaboración de la Herramienta Computacional.*

## TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN.....	XIII
ABSTRACT .....	XIV
INTRODUCCIÓN .....	1
CAPITULO I	
1. MARCO REFERENCIAL.....	3
1.1. Identificación del problema .....	3
1.2. Justificación.....	4
1.3. Antecedentes de la investigación .....	5
1.4. Objetivos.....	7
1.4.1. <i>Objetivo General</i> .....	7
1.4.2. <i>Objetivos Específicos</i> .....	7
CAPITULO II	
2. MARCO TEÓRICO .....	8
2.1. Anatomía y fisiología de la glándula tiroidea .....	8
2.2. Yodo 131 (I-131).....	9
2.2.1. <i>Modelo Biocinético</i> .....	11
2.3. Límite de dosis .....	14
2.3.1. <i>Criterio de decisión para monitoreo individual</i> .....	15
2.4. Procedimiento de detección. ....	16
2.4.1. <i>Mediciones directas</i> .....	16
2.4.2. <i>Mediciones indirectas</i> .....	17
2.5. Materiales .....	17
2.5.1. <i>Insumos médicos</i> .....	17
2.6. Equipos biomédicos .....	17
2.6.1. <i>Gammacámara</i> .....	18

<b>2.6.2.</b>	<b><i>Detectores</i></b> .....	19
<b>2.6.3.</b>	<b><i>Activímetro</i></b> .....	20
<b>2.7.</b>	<b>Herramienta computacional</b> .....	21
<b>2.7.1.</b>	<b><i>Desarrollo de la Herramienta computacional</i></b> .....	21
2.7.1.1.	<i>Creación de ventana de inicio.</i> .....	22
2.7.1.2.	<i>Creación de icono para de usuario_POE</i> .....	22
2.7.1.3.	<i>Creación de ventanas para cálculo en Tiroides y Orina</i> .....	23
2.7.1.4.	<i>Programación para cálculo de incorporación</i> .....	25
2.7.1.5.	<i>Hoja de almacenamiento de datos</i> .....	26

### **CAPITULO III**

<b>3.</b>	<b>MARCO METODOLÓGICO</b> .....	27
<b>3.1.</b>	<b>Tipo de investigación</b> .....	29
<b>3.2.</b>	<b>Localización estudio</b> .....	29
<b>3.3.</b>	<b>Población de estudio</b> .....	29
<b>3.4.</b>	<b>Método de Calibración de gammacámara.</b> .....	29
<b>3.4.1.</b>	<b><i>Pruebas de Calibración</i></b> .....	30
3.4.1.1.	<i>Calibración en sensibilidad</i> .....	31
3.4.1.2.	<i>Actividad Mínima Detectable</i> .....	31
<b>3.5.</b>	<b>Dosimetría Interna</b> .....	32
<b>3.5.1.</b>	<b><i>Incorporación</i></b> .....	32
<b>3.5.2.</b>	<b><i>Incorporación por múltiples medidas.</i></b> .....	33
3.5.2.1.	<i>Método estadístico</i> .....	34
3.5.2.2.	<i>Factor de dispersión</i> .....	34
<b>3.6.</b>	<b>Método de cálculo de dosis efectiva</b> .....	35

### **CAPTULO IV**

<b>4.</b>	<b>ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS</b> .....	37
<b>4.1.</b>	<b>Calibración del activímetro ATOMALAB</b> .....	37



<b>4.2.</b>	<b>Prueba de sensibilidad con colimadores de alta y media energía.....</b>	<b>38</b>
<b>4.2.1.</b>	<b><i>Cálculo de la actividad mínima detectable.....</i></b>	<b>39</b>
<b>4.3.</b>	<b>Desarrollo de la herramienta Computacional.....</b>	<b>42</b>
<b>4.4.</b>	<b>Validación de resultados .....</b>	<b>42</b>

**CONCLUSIONES**

**RECOMENDACIONES.**

**GLOSARIO**

**BIBLIOGRAFÍA**

**ANEXOS**

## INDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1-2:</b>	Clasificación de los Tipos de materiales de acuerdo a la ICRP 109.....	10
<b>Tabla 2-2:</b>	Tipos de absorción.....	10
<b>Tabla 3-2:</b>	Deposición aerosoles inhalados en cada región. ....	13
<b>Tabla 4-2:</b>	Clases de gases y vapores según el modelo biocinético .....	13
<b>Tabla 5-2:</b>	Límite de dosis para POE .....	14
<b>Tabla 6-2:</b>	Factores de seguridad referentes a la protección. ....	16
<b>Tabla 7-2:</b>	Factores de seguridad referente a la manipulación.....	16
<b>Tabla 8-2:</b>	Características del equipo.....	18
<b>Tabla 9-2:</b>	Características Generales.....	20
<b>Tabla 10 -2:</b>	Componentes de GUIDE .....	21
<b>Tabla 1-3:</b>	Valores de fracción de incorporación. ....	33
<b>Tabla 2-3:</b>	Coeficientes de dosis efectiva comprometida por inhalación e ingestión para POE. ....	36
<b>Tabla 1-4:</b>	Sensibilidad de la gammacámara para el detector 1 .....	38
<b>Tabla 2-4:</b>	Sensibilidad de la gammacámara para el detector 2.....	38
<b>Tabla 3-4:</b>	Porcentaje de error entre medidas .....	39
<b>Tabla 4-4:</b>	Cálculo de actividad de la fuente por decaimiento.....	39
<b>Tabla 5 -4:</b>	Corrección en el tiempo de la actividad de la fuente de Bario 133 .....	39
<b>Tabla 6-4:</b>	Factor de calibración para Yodo 131.....	40
<b>Tabla 7- 4:</b>	Factor de Calibración para Yodo 131.....	41
<b>Tabla 8 - 4:</b>	Actividad mínima detectable de la gammacámara .....	41
<b>Tabla 9 - 4:</b>	Datos adquiridos del POE .....	43

## INDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1–2:</b>	Glándula tiroidea. Anatomía y Fisiología .....	8
<b>Figura 2–2:</b>	Esquema de decaimiento de I-131.....	9
<b>Figura 3–2:</b>	Esquema del modelo sistemático .....	11
<b>Figura 4–2:</b>	Nueva definición de la región del tracto respiratorio .....	12
<b>Figura 5–2:</b>	Detector de radiaciones ionizantes - HCAM.....	19
<b>Figura 6–2:</b>	Activimetro -HCAM .....	20
<b>Figura 7–2:</b>	Ventana principal de la Herramienta Computacional .....	22
<b>Figura 8–2:</b>	Creación de ventanas.....	22
<b>Figura 9–2:</b>	Pantalla para cálculo de tiroides .....	23
<b>Figura 10–2:</b>	Pantalla para el cálculo en Orina.....	24
<b>Figura 11–2:</b>	Hoja de registro de datos de la Herramienta Computacional .....	26
<b>Figura 1–3:</b>	Fantoma con actividad de 2mCi para determinación de sencibilidad planar y eficiencia energética.....	30
<b>Figura 2–3:</b>	Simulador de tiroides .....	31
<b>Figura 3–3:</b>	Posicionamiento del POE en la Gammacámara .....	32
<b>Figura 1– 4:</b>	Cálculo en la Herramienta Computacional. ....	43
<b>Figura 2–4:</b>	Representación de resultados. ....	43

## INDICE DE GRÁFICOS

<b>Gráfico 1-4:</b>	Linealidad del Activimetro ATOMALAB .....	37
---------------------	---	----

## INDICE DE ANEXOS

- Anexo A:** Criterio de decisión para monitoreo individual
- Anexo B:** Fuentes de referencia para prueba de linealidad del activímetro Atomalab
- Anexo C:** Certificado de fuente de referencia
- Anexo D:** Datos de fabricante- colimadores de gammacámara
- Anexo E:** Protocolo para cálculo de sensibilidad.
- Anexo F:** Hojas de cálculo almacenada
- Anexo G:** Valores  $m(t)$  dados en días para orina y tiroides respectivamente, obtenidos del software AIDE
- Anexo H:** Cálculo sensibilidad para detectores
- Anexo I:** Tabulación de datos en cps del POE.

## RESUMEN

El presente trabajo de titulación tiene como objetivo, determinar la dosis efectiva comprometida del personal ocupacionalmente expuesto debido a la incorporación por inhalación de I-131 en la unidad de medicina nuclear mediante el desarrollo de una herramienta computacional, a través de un análisis del modelo biocinético de tracto respiratorio, para localizar zonas de mayor captación por el tipo de material radiactivo manipulado, previo a la implementación del método dosimétrico in vivo establecido por la Comisión Internacional de Protección Radiológica (ICRP), se realiza el control de calidad de la gammacámara en la prueba de eficiencia energética, estableciéndose parámetros de distancia entre fuente-colimador y tiempo de adquisición, en cambio, para el cálculo de actividad mínima detectable (AMD), se utiliza un fantoma de cuello que contiene una fuente puntual de Ba-133 con actividad certificada y corregida a la fecha 29 de agosto del 2019 de: 2 706. 62 Bq del departamento de dosimetría de la Secretaria de Control y Aplicaciones Nucleares, posteriormente, se aplica el método dosimétrico colocando en la gammacámara al personal ocupacionalmente expuesto en posición supina para obtener valores en cuentas por segundo que son necesarios para estimar dosis efectiva comprometida, en conjunto, se desarrolla la herramienta computacional, que cuenta con la metodología dispuesta por la ICRP, además de contar con la propuesta para valoración de dosis efectiva comprometida en muestras in vitro como es: la orina. Los resultados obtenidos indican que la gammacámara cuenta con una AMD de 1Bq y los colimadores utilizados un error del 5% entre ellos, por tanto, es apta para adquirir actividad incorporada en cuentas por segundo. Se recomienda para el correcto uso de dosimetría in vitro implementada en la Herramienta computacional, la certificación de una fuente puntual en mililitros (ml) y su manejo en casos de emergencia radiológica considerando un margen de error.

**PALABAS CLAVE:** < BIOFISICA, MEDICINA NUCLEAR > < DOSIS EFECTIVA > <ACTIVIDAD MÍNIMA DETECTABLE (AMD)> <INCORPORACIÓN (I)> <HERRAMIENTA COMPUTACIONAL > < MATLAB (SOFTWARE) > < MODELO BIOCINÉTICO >.

## ABSTRACT

The present degree work has as aim to determine the committed effective dose of the staff occupationally exposed due to the incorporation by inhalation of I-131 in the nuclear medicine unit through the development of a computational tool, by the way of an analysis of the biokinetic model of the respiratory tract, to locate areas of greater uptake by the type of radioactive material handled, preceding to the implementation of the in vivo dosimetric method established by the International Commission for Radiological Protection (ICRP), it is performed the quality control of the gammacamera in the energy efficiency test, establishing distance parameters between source-collimator and acquisition time; however, for the calculation of minimum detectable activity (MDA), a neck phantom is used that contains a point source of Ba-133 with certified and corrected activity to the date of August 29, 2019 of: 2 706. 62 Bq of the Dosimetry department of the Secretary of Control and Nuclear Applications, subsequently, the dosimetric method is applied by placing the gammacamera to the occupationally staff exposed in supine position to obtain values in counts per second that are necessary to estimate the effective dose committed, together, it is developed the computational tool, which has the methodology provided by the ICRP, in addition to having the proposal for the evaluation of the effective dose committed in in vitro samples such as: urine. The obtained results show that the gammacamera has a MDA of 1Bq and the collimators used with an error of 5% among them, therefore, it is suitable to acquire incorporated activity in counts per second. It is recommended for the correct use of in vitro dosimetry implemented in the Computational Tool, the certification of a point source in milliliters (ml) and its handling in cases of radiological emergency considering a margin of error.

Key words: <BIOPHYSICS, NUCLEAR MEDICINE> <EFFECTIVE DOSE> <MINIMUM DETECTABLE ACTIVITY (MDA)> <INCORPORATION (I)> <COMPUTATIONAL TOOL> <MATLAB (SOFTWARE)> <BIOCINETIC MODEL>.

## INTRODUCCIÓN

En el Área de medicina nuclear de los hospitales, ya sean públicos o privados, el personal ocupacional que trabaja con el manejo y/o manipulación de material radiactivo se encuentra expuesto a riesgos de irradiación externa, principalmente por, fotones de alta energía que son emitidos desde el paciente tras la administración del material radiactivo y de irradiación interna al realizar tareas tales como; elución, fraccionamiento, administración o en muchas ocasiones de contaminación al realizar tareas de limpieza en áreas en las que se encuentran desechos de comida o fluidos como pueden ser; sudor, orina, vomito o saliva localizada en ropa u objetos que hayan estado en contacto con el paciente (SESCAM, 2010).

Según (J.A. Lecuna, y L.I. Carrizales del Centro Médico Docente la Trinidad de Caracas, 2016), es posible desarrollar una técnica de bioensayo “in vivo”, con la cual, se puede evaluar la incorporación de I-131 en Trabajadores Ocupacionalmente Expuestos (TOES), así como también, la estimación de dosis efectiva, realizando la interpretación y aplicación del modelo biocinético por inhalación establecido por la ICRP.

Motivo por el cual, en el presente trabajo se pretende determinar la dosis efectiva comprometida del Personal Ocupacionalmente Expuesto debido a la incorporación de yodo 131 en la unidad de Medicina Nuclear mediante el desarrollo de una herramienta computacional, a través de técnicas de bioensayo in vivo, para posterior valoración de Dosis efectiva comprometida ocasionada por inhalación o ingesta accidental de material radiactivo, que al ser inhalado o ingerido llega a ser perjudicial para la salud en personas sanas, por tanto, se utiliza el equipo disponible en la unidad de Medicina Nuclear (MN), como es; la gammacámara.

Para la detección en el organismo de material radiactivo del Personal Ocupacionalmente Expuesto, es necesario adquisición del número de cuentas que puede registrar la gammacámara en la región ET1 Y ET2 o región tiroidea, después de un monitoreo externo con detectores tipo geiguer, con la finalidad de obtener en el equipo cuentas reales, que posteriormente puedan ser analizadas mediante la Herramienta Computacional desarrollada, en base a lo que propone la Comisión Internacional de Protección Radiológica, por tanto, para validar dichos cálculos se utilizan coeficientes adquiridos de un software certificado por el organismo en mención, como es; el software AIDE, al mismo tiempo que se realizan cálculos manuales, de esta manera el trabajo de titulación cuenta con relevancia social y sanitaria en el ámbito de la protección radiológica.

El Capítulo I. Presenta el problema que generó la investigación, es decir, ¿Es posible determinar la dosis efectiva comprometida del personal ocupacionalmente expuesto debido a la incorporación de I-131 en la unidad de medicina nuclear mediante el desarrollo de una herramienta computacional?, la justificación mediante el uso de una base dosimétrica con sustento físico, utilizando el sistema convencional de actividades consensuadas (cantidades fijas), revisando sus antecedentes y los objetivos planteados para el desarrollo del presente Trabajo de Titulación.

El capítulo II. Detalla las bases teóricas por lo que se toma en consideración los siguientes temas: Anatomía y Fisiología de la Glándula tiroidea, Yodo 131 (I-131), Modelo Biocinético propuesto por la Comisión Internacional de Protección Radiológica, Límites de dosis, Procedimiento de detección, Materiales, Equipos utilizados y La Herramienta Computacional.

El capítulo III. Presenta la metodología utilizada, por lo que, se detalla el tipo de investigación, Localización del estudio, Muestra a ocupar, Método de calibración de la gammacámara, Dosimetría interna y Método de cálculo de dosis efectiva.

El capítulo IV. Muestra el análisis e interpretación de resultados en equipos como; la calibración del Activímetro y Gammacámara, expone los resultados adquiridos en la Herramienta Computacional Desarrollada con su análisis, además de, la Validación de resultados finalizando con conclusiones y recomendaciones.



## **CAPITULO I.**

### **1. MARCO REFERENCIAL**

#### **1.1. Identificación del problema**

El yodo 131 (I-131) es un material radiactivo que se puede presentar de forma líquida, sólido al encontrarse contenido en pastillas y gaseosa al entrar en contacto con el ambiente, por tanto, debido a la volatilidad del material radiactivo existe riesgo de incorporación en el cuerpo a través de vías respiratorias, esta acción, es considerada como incorporación por inhalación.

En la unidad de Medicina Nuclear del Hospital Carlos Andrade Marín el personal ocupacionalmente expuesto (POE) tiene el riesgo de sufrir contaminación interna por inhalación debido al manejo de I-131 convirtiéndose en un problema en el campo de la protección radiológica para los trabajadores.

En la actualidad la unidad de medicina nuclear cuenta con vigilancia radiológica individual de las dosis ocupacionales simplemente de dosimetría externa en cuerpo entero y/o manos, utilizando los dosímetros termoluminiscentes (TLD), pero no existe la evaluación de dosis del personal ocupacionalmente expuesto con dosimetría interna, es decir; debido a la incorporación de material radiactivo, la cual, está presente al realizar varias tareas como; terapias metabólicas de tiroides o diagnósticos a pacientes.

Tanto el personal médico, físico, técnico y enfermeros encargados de la atención a estos pacientes, corren el riesgo de presentar cierta incorporación de este radionucleido durante el proceso de fraccionamiento de dosis para su administración o por el manejo de objetos y desechos contaminados con la orina o saliva del paciente.

El elevado costo para implementar tanto una herramienta computacional que realice el cálculo y la evaluación de estimaciones dosis efectiva, para cada parte del cuerpo del personal ocupacionalmente expuesto como lo hace el software AIDE, y la difícil adquisición de un sistema de captación que contenga este software, se convierten en un limitante para realizar el cálculo de la dosis efectiva comprometida, por este motivo, es necesario desarrollar métodos alternativos computacionales para realizar la vigilancia de las exposición y/o contaminación interna para establecerlos como un método de control dosimétrico para el POE, puesto que, es

necesario dar cumplimiento a los límites de dosis establecidos por la Comisión Internacional de Protección Radiológica, además de, realizar la vigilancia dosimétrica del POE para que evitar una sobre exposición.

## **1.2. Justificación**

La manipulación de I-131, en calidad de fuente no sellada en el área de medicina nuclear, genera un riesgo en cuanto a la exposición interna de los trabajadores; por su elevada volatilidad a temperatura ambiente al encontrarse en forma líquida, por ende, para tener un adecuado control de la dosimetría interna, es necesario saber las circunstancias más probables de incorporación del radionucleido en el organismo, sabiendo que, las formas de posible contaminación ocurren por inhalación, ingestión y absorción.

Para llevar a cabo un control dosimétrico del personal ocupacionalmente expuesto es necesario estimar la dosis efectiva, que resultado de la incorporación de sustancias radiactivas al organismo, para comprobar dicha dosis, es esencial conocer la composición física del radionucleido o contaminante en casos de inhalación e ingestión como ocurre con el I-131, es importante considerar que su principal vía de incorporación es el tracto respiratorio y la vía de eliminación es el tracto urinario, motivo por el cual, se vuelve necesario conocer el comportamiento del material radiactivo en el tracto respiratorio por medio del modelo biocinético propuesto por la Comisión Internacional de Protección Radiológica.

El equipo empleado para determinar posibles casos de incorporación del material radiactivo, retenido en la glándula tiroides, en el personal ocupacionalmente expuesto (POE), será la gammacámara h3000ww infinia hawkeye Gp3 los valores obtenidos en las imágenes gammagráficas de muestras biológicas in vivo determinan la actividad incorporada denotada como (I) , valor que también puede ser hallado con la implementación de técnicas de bioensayo, es decir; valores que también pueden ser obtenidos en mediciones de muestras in vitro (orina) con el uso del factor de referencia que representa; la fracción de incorporación retenida en el tiempo  $m(t)$  transcurrido desde la incorporación, factores que son validados por la Comisión Internacional de Protección Radiológica.

Por lo antes mencionado, en el presente Trabajo de Titulación se desarrolla una herramienta computacional en MATLAB llamada “DOSIMETRY” que permite la determinación de dosis efectiva comprometida en muestras in vivo, además de, contar con el método dosimétrico in vitro que fue incorporado como propuesta para casos de emergencias radiológica. Con el fin de validar los resultados del uso de la herramienta computacional en dosimetría in vivo, se realizan

cálculos de dosis efectiva comprometida a 50 años y dosis efectiva (E) de forma manual con coeficientes de referencia de un software certificado para finalmente implementarla como un método automatizado de control de dosis efectiva, y de esta manera ahorrar recursos y tiempo en las actividades que se desarrollan en el área de Medicina Nuclear, dando así, al trabajo de titulación relevancia social y sanitaria por ser parte de la protección radiológica.

### **1.3. Antecedentes de la investigación**

Según (J.A. Lecuna, y L.I. Carrizales del Centro Médico Docente la Trinidad de Caracas, 2016), es posible desarrollar una técnica de bioensayo “in vivo” considerando el límite anual de incorporación en el ambiente laboral del departamento de medicina nuclear, con la cual, se puede realizar la evaluación de actividad incorporada de material radiactivo en Trabajadores Ocupacionalmente Expuestos (TOES), valores que pueden ser utilizados para el cálculo de dosis efectiva tomando al realizar la interpretación y aplicación del modelo biocinético por inhalación establecido por la ICRP.

La Organización Internacional de Energía Atómica (OIEA, 2004) en su registro N.º RS-G-1.2. Menciona que la evaluación de dosis individual debido a la incorporación de material radiactivo, es conveniente que se realice mediante mediciones directas in vivo e in vitro, ya que, dichos datos dan información sobre la actividad retenida en el órgano de interés, datos que pueden ser útiles en muestras de origen biológico como son heces y orina, para obtener información sobre la retención total en el cuerpo.

En la publicación realizada por el Organismo Internacional de Energía Atómica en el año 2004, se mencionan los valores genéricos de las fracciones de incorporación denotados como:  $m(t)$ , establecidos por la ICRP en el apéndice III para radionucleidos seleccionados en tejidos o excrementos como heces u orina, valores a considerar como referencia para el cálculo de actividad incorporada si se dispone de múltiples mediciones, se puede obtener una mejor estimación de la ingesta si se acompaña de métodos estadísticos, por ejemplo, mediante el método de mínimos cuadrados (International Atomic Energy, 2004.).

Según (Bertelli et al. 2008a), tras indagaciones realizadas debido a los accidentes nucleares se propone el diseño de un software nombrado Estimaciones de dosis internas y de actividad con sus siglas en inglés (AIDE), el cual, determina actividades en compartimentos, dosis comprometidas debido a exposiciones ocupacionales, estimación de ingesta y dosis efectiva de personal ocupacionalmente expuesto, con el análisis de datos en bioensayos y utilizando los

coeficientes de dosis para varios materiales radiactivos previamente calculados para inhalación e ingestión en adultos por la ICRP.

Según (A Rodríguez-Laguna, E Estrada-Lobato, ME Brandan, 2010), en el departamento de Medicina Nuclear del Instituto Nacional de Cancerología en México, verifican que la implementación de una gammacámara Siemens como equipo de detección es una herramienta adecuada para la medición de actividad incorporada en personal ocupacional, puesto que, cuenta alta sensibilidad y los valores obtenidos desde el equipo son útiles para ser evaluados en softwares diseñados para cálculos de dosis por incorporación, debido a que generó una estimación sobre la incorporación y la dosis efectiva comprometida, al hacer uso del software (AIDE).

En la unidad de medicina nuclear del hospital de especialidades Carlos Andrade Marín, el primer trabajo realizado para la valoración de dosis interna fue presentado como; “Implementación de un método de valoración de I-131 incorporado por el personal ocupacionalmente expuesto del departamento de medicina nuclear del hospital “ Carlos Andrade Marín (HCAM) ”, en el que se establece a la gammacámara modelo “h3000ww infinia hawkeye Gp3” como una herramienta alternativa para la comprobación de actividad incorporada en muestras in vivo al realizar pruebas de eficiencia energética, sensibilidad y linealidad con varias fuentes que fueron certificadas y comparadas con un fantoma de Bario 133 certificado (ROJAS, 2018).

Ley Constitutiva de la Comisión Ecuatoriana de Energía Atómica (CEEAA) actual SCAN, expedida por Decreto Supremo No. 3306, de 8 de marzo de 1979, publicado en el Registro Oficial No. 798, de 23 de marzo de 1979, manifiesta en el artículo 120. “La Comisión Ecuatoriana de Energía Atómica realizará cálculos de dosis biológicas equivalentes a las cuales han estado expuestos los trabajadores y si la dosis absorbida es  $\pm 5\%$  de la dosis permitida por la IAEA, el personal puede seguir laborando en la misma área, caso contrario se realiza un análisis para posibles reubicaciones o suspensión de trabajo con bonificaciones” (*REGLAMENTO DE SEGURIDAD RADIOLOGICA. 1979*).

## **1.4. Objetivos**

### ***1.4.1. Objetivo General***

Determinar la dosis efectiva comprometida del personal ocupacionalmente expuesto debido a la incorporación por inhalación de I-131 en la unidad de medicina nuclear mediante el desarrollo de una herramienta computacional.

### ***1.4.2. Objetivos Específicos***

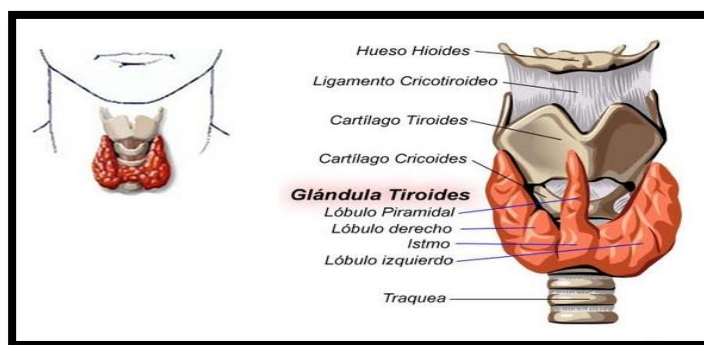
- ✓ Analizar el modelo biocinético por inhalación del I-131 propuesto por la Comisión Internacional de Protección Radiológica.
- ✓ Cuantificar actividades retenidas en tiroides a través de muestras biológicas con la implementación de una gammacámara.
- ✓ Modelar una herramienta computacional para estimar la actividad incorporada, la dosis efectiva comprometida a 50 años.
- ✓ Validar los resultados del uso de la herramienta computacional.

## CAPITULO II

### 2. MARCO TEÓRICO

#### 2.1. Anatomía y fisiología de la glándula tiroidea

La glándula tiroidea se encuentra localizada en la parte anterior e inferior del cuello por debajo de la piel, es decir; por delante de la vía respiratoria apoyada en la tráquea y por debajo de la laringe en contacto directo con el esófago (Ángeles Martín-Almendra, 2016), sus dimensiones son de 4 -6 cm (en sentido craneocaudal ) x 2cm ( sentido sagital) x 2cm (sentido transversal), mientras que, a nivel del istmo mide menos de 0.3 cm en sentido anterior posterior (Arancibia Z, Niedmann E y Ortega T, 2002).



**Figura 1–2:** Glándula tiroidea. Anatomía y Fisiología

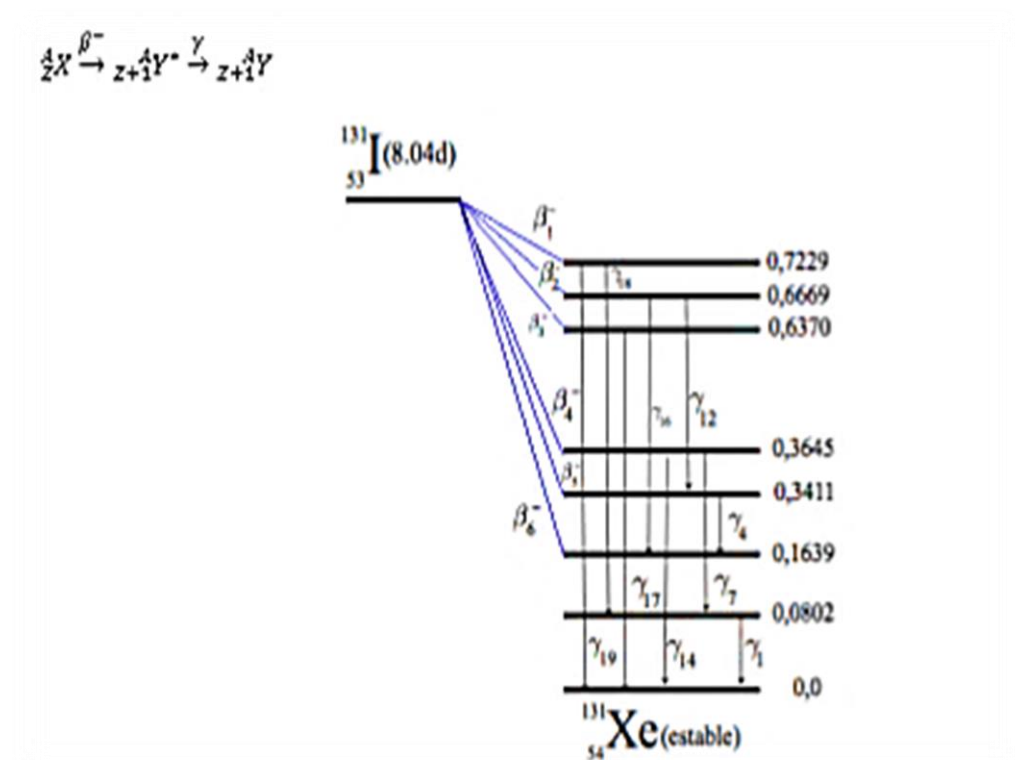
**Fuente:** (Ángeles Martín-Almendra, 2016).

Es un órgano endocrino que ejerce en los tejidos una regulación compleja tanto sobre la síntesis proteica como sobre el metabolismo de los glucósidos y los lípidos, (A.Desgrez, 1980. pág. 53), también se puede mencionar que, la tiroidea tiene un peso de 25 gramos aproximadamente y su forma se asemeja a una mariposa de color pardo rojizo, con vesículas o folículos de tamaño variable revestidos por células foliculares que son las encargadas de sintetizar las hormonas tiroideas L-tiroxina y L-tironina (Allauca Ortega 2018, pág. 9), las cuales participan en varios procesos metabólicos del organismo. En cuanto a su composición química es única, puesto que son las hormonas tiroideas que en su composición llevan yodo (Ángeles Martín-Almendra, 2016, pag. 7), y en cuanto a su fisiología, es una glándula que puede ejercer funciones biológicas a distancia, además de, generar cambios en el funcionamiento del organismo por su

capacidad de sintetizarse y segregarse en muy pequeñas cantidades en el torrente circulatorio (Ángeles Martín-Almendra, 2016, pag. 9).

## 2.2. Yodo 131 (I-131)

Los isótopos radiactivos son elementos que poseen propiedades químicas idénticas y las radiaciones que dan su origen permiten seguir su camino en la cadena de reacciones químicas (A.Desgrez, 1980. pág. 2), como ocurre con el yodo 131 (I-131) que tiene las siguientes características: un periodo de semidesintegración de 8.02 días, desintegración con emisión de partículas beta y gamma de alta energía, cuando lo realiza por emisión beta (B-) con una energía de 191.58 KeV genera un efecto tóxico directamente a la glándula tiroidea a pesar de que el alcance de partículas sea corto, por otra parte, la emisión gamma con una energía de 364.48 KeV por elevado alcance de partículas permite la captación de imágenes (lenntech, 2017).



**Figura 2-2:** Esquema de decaimiento de I-131

Fuente: (Carrascal, 2009).

De acuerdo a la ICRP 109 basada en la publicación ICRP 60, se realiza una clasificación de los tipos de materiales de acuerdo al tipo de absorción, los cuales se muestran en la tabla 1-2.

**Tabla 1-2:** Clasificación de los Tipos de materiales de acuerdo a la ICRP 109

Materiales	Descripción
tipo F	Se absorben fácilmente en la sangre y a través del tracto respiratorio (velocidad de absorción rápida).
tipo M	Tienen tasas intermedias de absorción en la sangre del tracto respiratorio (tasa moderada de absorción).
tipo S	Son relativamente insolubles en el tracto respiratorio (velocidad de absorción lenta).

**Fuente:** (Eckerman, Harrison, Menzel, y Clement, 2013).

Por lo mencionado en el párrafo anterior al I-131 se lo considera como material de tipo F, es decir; un radionucleido de alta radiotoxicidad y elevada absorción, siendo utilizado en las áreas de medicina nuclear para el diagnóstico y tratamiento de enfermedades como: hipertiroidismo, tratamiento del cáncer de tiroides, estudios renales y marcaje de anticuerpo (J.A. Lecuna, L.I. Carrizales, 2016).

La tabla 2-2 Se presenta una clasificación de los materiales de tipo F, considerando el periodo biológico, es decir, el tiempo de absorción del material radiactivo en el cuerpo.

**Tabla 2-3:** Tipos de absorción

Tipos	Periodos biológicos	Ejemplo.
F	Materiales que son 100% absorbidos, es decir; existe absorción rápida de casi todo el material depositado en casi todas las regiones torácicas bronquiales (BB) y La mitad del material es depositado en tractos nasal y oral posteriores (ET2) en un período biológico de 10 minutos aproximadamente.	Todos los compuestos de yodo y cesio
M	Material 10% absorbido con un período biológico de 10 min y 90% con uno periodo de 140 días, existiendo absorción rápida del 10% del compuesto aproximadamente en la región BB y del 5% del material en la región ET2.	Todos los compuestos de Radio y Americio.
S	Material absorbido el 0,1% en período biológico de 10 min y 99,9% al pasar 7000 días. Hay poca absorción desde ET y BB.	Compuestos insolubles de Uranio y Plutonio.

**Fuente:** (International Atomic Energy (OIEA), 2004).

**Realizado por:** Sierra Carmen, 2019.

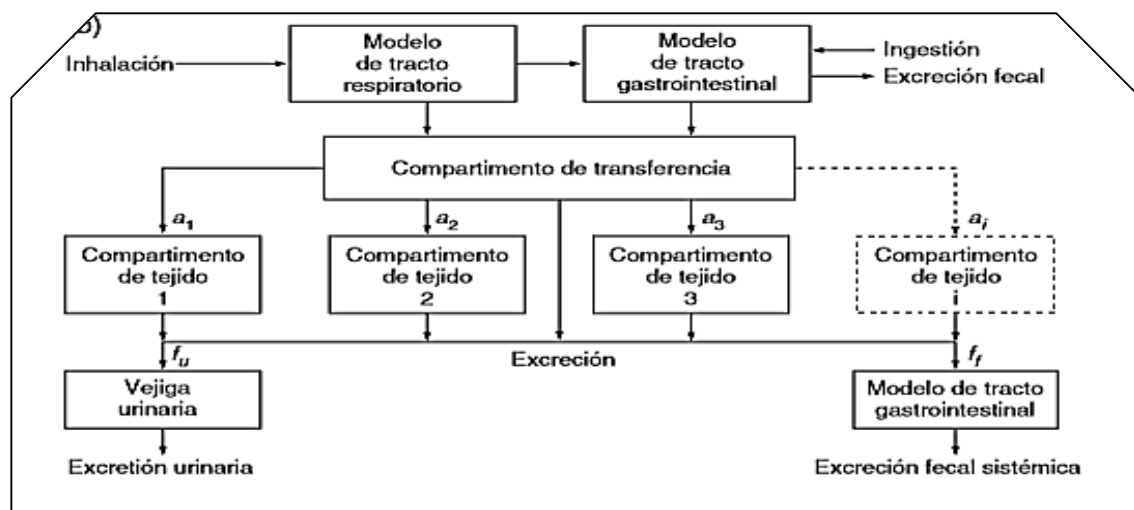


De acuerdo a la información obtenida por la OIEA en las tablas anteriores, se establece al yodo y a todos los compuestos derivados del mismo como; materiales de tipo F con un absorción del mismo tipo, mencionando que, a los 10min podrá ser captado por un instrumento al 100% capas de adquirir rayos gamma en todo el tracto respiratorio e intestinal, por lo explicado, el yodo es absorbido rápidamente por el tracto respiratorio y en especial en la región tiroidea por su afinidad al yodo, motivo por el cual, es utilizado en el área de medicina nuclear para tratamientos o diagnósticos (Carrascal, 2009).

La evaluación de dosis en situaciones de accidente, necesita información más específica sobre el tiempo y el patrón de ingesta, sobre la forma física y química del material radiactivo y sobre las características del individuo (por ejemplo: la masa corporal). Los datos específicos individuales sobre la biocinética de los radionúclidos pueden obtenerse a través de un monitoreo especial, es decir, mediante mediciones directas repetidas de todo el cuerpo o zonas específicos y mediciones de excreción basándose en la biocinética (International Atomic Energy (OIEA), 2004).

### 2.2.1. Modelo Biocinético

Los modelos biocinéticos describen la incorporación, absorción y retención de un radionucleido en órganos y tejidos del cuerpo además de su posterior excreción por diferentes vías. Los modelos desarrollados por la ICRP, están diseñados para su uso en situaciones normales, como pueden ser, para la evaluación de dosis a partir de mediciones realizadas de acuerdo con programas de monitoreo de rutina.

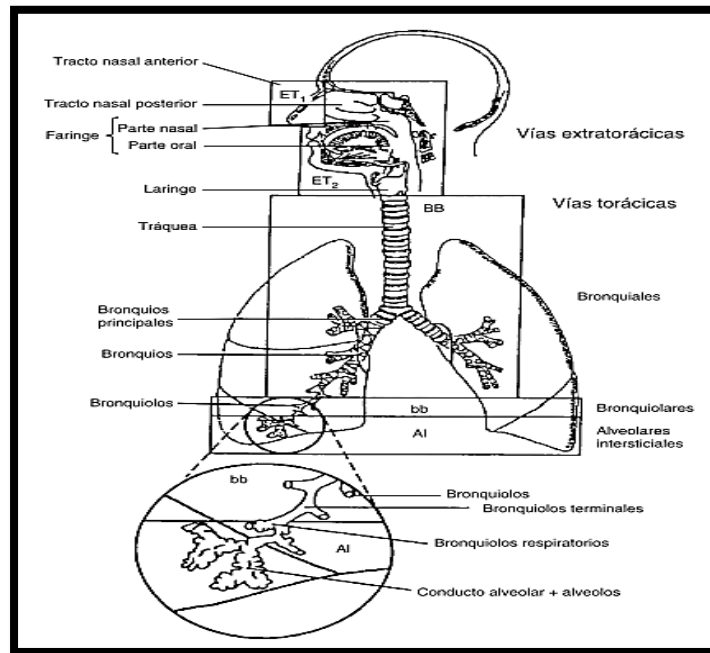


**Figura 3-2:** Esquema del modelo sistemático

**Fuente:** (International Atomic Energy (OIEA), 2004).

*Modelo sistemático:* es utilizado para representar la cinética de los radionucleidos en los compartimentos del cuerpo, con el cual, se obtienen fracciones de retención y excreción del material radiactivo, tanto en, órganos y en tejidos que constituyen la vía de incorporación (principalmente inhalación o ingestión), como en el resto de órganos y tejidos, en los cuales se retiene y elimina el isótopo radiactivo (Camilo Ramos, 2016).

El modelo sistemático es remplazado en la publicación 66 de la Comisión Internacional de Protección Radiológica (ICRP), por un modelo biocinético para tracto respiratorio que muestra plenamente la fisiología, tejido, anatomía, deposición y el aclaramiento de compuestos químicos inhalados y el bio-efecto simultáneo, puesto que, determina la concentración en porcentajes de dosis a tejidos específicos del tracto respiratorio, tomando en cuenta, las diferencias en la radio sensibilidad de dicho tejido dentro del tracto respiratorio, en el nuevo modelo propuesto para inhalación o de tracto respiratorio se muestran cinco regiones (International Atomic Energy (OIEA),



2004).

**Figura 4-2:** Nueva definición de la región del tracto respiratorio

**Fuente:** ( OIEA, 2004).

En la figura 4-2 se representan las vías extratorácicas del tracto respiratorio (ET), que a su vez se dividen en: ET1: nariz y pasajes nasales anteriores y, ET2: pasajes nasales posteriores, faringe y laringe; mientras que, la región torácica, Abarca la región BB como: la tráquea, bronquiolos (bb) y bronquios principal (IAEA 2004), por lo que, es necesario explicar su deposición regional de aerosoles.

**Tabla 4-2:** Deposición aerosoles inhalados en cada región.

Región	Deposición (%)	Región	Deposición (%)
<b>ET1</b>	47.94	<b>Bb/ BB</b>	1.10
			1.78
<b>ET2</b>	25.82	<b>Al</b>	5.32
<b>Total</b>		81.96	

Fuente:(OIEA, 2004).

Realizado por: Sierra Carmen, 2019.

Según el análisis en la tabla anterior adquirida desde documentos oficiales del OIEA en el año 2004 existe una deposición regional con una actividad media aerodinámica de 5um en la región ET2 muy considerable que depende del material radiactivo inhalado.

La fracción de un gas o vapor inhalado que se retiene o absorbe de cada región depende de su solubilidad y reactividad y, salvo en el caso simple, se debe retraer individualmente (M.R.Baile y Radiological National Board, 1994), a diferencia de la deposición de partículas, la retención de gases y vapores como se menciona en el párrafo anterior en el tracto respiratorio es específica para el material. En algunos casos ocurre que, las moléculas de gas inhaladas entran en contacto con las superficies y se vuelven a arrastrar en el aire, a menos que, se disuelvan o reaccionen por contacto con la superficie, acción puede generarse en la región bb del tracto respiratorio.

**Tabla 5-2:** Clases de gases y vapores según el modelo biocinético

Clases	Definición
<b>SR-0</b>	<b>Insoluble y no reactivo:</b> Se considera a la irradiación externa incorporada en la nube de gas, mismo que puede ingresar por tracto respiratorio y causar irradiación interna.
<b>SR-1</b>	<b>Soluble o reactiva:</b> Se considera la retención en los tejidos del tracto respiratorio y ser absorbido por sangre y puede ser menos del 100% de la actividad inhalada.
<b>SR-2</b>	<b>Altamente soluble o reactivo:</b> se considera una captación completa e instantánea de la actividad inhalada.

Fuente:(M.R.Bailey & Radiological National Board, 1994).

Realizado por: Sierra Carmen, 2019.

### 2.3. Límite de dosis

En la publicación 130 de la ICRP Anal 1, titulado “*Ingesta ocupacional de radionucleidos*” se menciona que, el límite de dosis para Personal Ocupacionalmente Expuesto (POE) se debe analizar de manera oportuna, debido a que, la exposición con las radiaciones ionizantes genera un riesgo para su salud. Efectos que generan daños al superar un umbral, conocidos como; efectos determinísticos, o a su vez puede ocurrir que el daño sea celular o genético que se asocian con efectos estocásticos. Debido al daño que pueden ocasionar las radiaciones ionizantes no se debe permitir ninguna exposición innecesaria, es decir; que no haya sido justificada previamente considerando el límite anual de ingesta (ALI), mismo que representa una ingesta en Bq de un radioisótopo en 1 año de trabajo que llevaría a una dosis efectiva comprometida de 20 mSv anuales (F. Paquet, G. Etherington, M.R. Bailey, R.W. Leggett, J. Lipsztein, W. Bolch, K.F. Eckerman, 2015). Para determinar el ALI promedio para POE se utiliza la siguiente ecuación:

#### Ecuación 1: Límite Anual de Ingesta

$$ALI_j = \frac{0,02}{e_j(50)}$$

Siendo:

- $e_j(50)$ , el coeficiente de dosis efectiva a 50m para aerosoles y para excretas.

En la tabla que se muestra a continuación se menciona los límites de dosis para POE establecido por la ICRP en su publicación N. ° 66.

**Tabla 6-2:** Límite de dosis para POE

Exposición laboral para trabajadores de la radiación.	
Categoría	Límite de dosis
Exposición laboral para trabajadores de la radiación.	La dosis efectiva equivalente no debe exceder de 100 mSv durante un ciclo de cinco años consecutivos, y no debe exceder de 50 mSv en un solo año.
	La suma de la proporción de dosis profunda equivalente a 50 mSv y la suma de las proporciones de ingesta de cada radionúclido a ALI en cualquier año no exceda la unidad.

**Fuente:** (Pang, Hwang y Chiu, 2003).

**Realizado por:** Sierra Carmen, 2019.

Se debe hacer uso de ALI una vez que se haya considerado la dosis total de la radiación externa y la dosis incorporada por casos de ingesta y/o inhalación de material radiactivo, magnitud denominada como: dosis efectiva comprometida, correspondiente a la incorporación en el POE, con la posibilidad de años de trabajo de una persona joven cuando se incorpora al campo laboral, para cumplir con los límites de dosis establecidos por la ICRP (F. Paquet, G. Etherington, M.R. Bailey, R.W. Leggett, J. Lipsztein, W. Bolch, K.F. Eckerman 2015).

De acuerdo al documento titulado: “Protección radiológica y seguridad de las fuentes de radiación - Normas básicas internacionales de seguridad” del Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA), en el apéndice III parte 4, se menciona: “Los límites de dosis efectivas especificados son aplicables a la suma de las dosis pertinentes recibidas por exposición externa en el período especificado y de las dosis comprometidas pertinentes causadas por las incorporaciones en el mismo período”, período que normalmente será de 50 años para calcular dosis efectiva comprometida en adultos” (Organismo Internacional de Energía Atómica, 2016).

### ***2.3.1. Criterio de decisión para monitoreo individual***

Existen algunos factores que se deben considerar para saber si existe la necesidad de implementar un programa de monitoreo individual interno de rutina, basado en; ***dosis anual efectiva comprometida igual o superior a 1mSv***, que depende del material radiactivo manipulado (Eder Augusto de Lucena, 2011).

#### **Ecuación 2: Criterio de decisión para monitoreo**

$$dj = 10 * Aj * e(g)j,ing * fhs * fps$$

#### **Dónde:**

j = Radionúclido de interés;

A<sub>j</sub> = Actividad (Bq) manipulada en el ambiente de trabajo durante 1 año;

e(g)<sub>j</sub> = Coeficiente de dosis (Sv/Bq) para inhalación;

f<sub>hs</sub> = Factor de seguridad referente a la manipulación; basado en el tipo de operación física realizada y de la forma física del material;

f<sub>ps</sub> = Factor de seguridad depende de los equipos de protección del laboratorio (cámara de extracción, cámara de guantes, etc.

**Tabla 7-2:** Factores de seguridad referentes a la protección.

Medida de protección	Factores de seguridad referentes a la protección fps
Operaciones en mesa abierta	1
Operaciones en cámaras de extracción	0,1
Operaciones en cámara de guantes	0,01

Fuente: (Eder Augusto de Lucena, 2011).

**Tabla 8-2:** Factores de seguridad referente a la manipulación

Proceso	Factores de seguridad referentes a la manipulación $f_{hs}$
Almacenamiento (solución madre)	0,01
Operaciones húmedas muy simples	0,1
Operaciones químicas normales	1
Humedales operaciones complejas,	10
con el riesgo de derramar la solución	10
Manejo de compuestos solubles	100

Fuente: (Eder Augusto de Lucena, 2011).

**Ecuación 3:** Factor de decisión para todos los radionucleidos en el lugar.

$$D = \sum_j d_j$$

Si **D** fuera igual o superior a 1, es necesario implementar un Programa de Monitoreo Individual Interno. Si es un valor inferior a 1, no es necesario implementarlo. Ver anexo **A**.

## 2.4. Procedimiento de detección.

### 2.4.1. Mediciones directas

Para la realización de mediciones directas el POE no debe tener contaminación de la superficie externa, es decir; extremidades superiores e inferiores, principalmente cuello y cara, con ropa limpia sin cadenas, relojes y gafas para evitan la transferencia de contaminación al equipo de

medición, además de, mantenerse en una posición fija, mientras se realiza el conteo, que fue previamente definida para asegurar la reproducibilidad en mediciones consecutivas.

#### **2.4.2. Mediciones indirectas**

Las mediciones indirectas se deben realizar una vez que ocurra el ingreso del material radiactivo en el cuerpo, acción que se puede determinar debido al aclaramiento en zonas del tracto respiratorio en el caso de inhalación del cuerpo mientras se realiza la adquisición de imágenes gammagráficas, incorporación que se puede analizar a través de la orina o muestras de laboratorio en sangre. En la orina es posible realizar dichas mediciones antes de vaciarla debido a su recolección durante varias horas en la vejiga antes de su evacuación.

Las muestras de orina receptadas después de las 24 horas o después de los primeros días que haya ocurrido una incorporación significativa localizada en la región de tracto respiratorio proporcionan datos importantes para la valoración de ingesta en circunstancias donde no se hayan obtenido muestras de 24 horas (International Atomic Energy, 1999).

### **2.5. Materiales**

Antes de realizar la adquisición de imágenes de muestras biológicas se realiza la calibración del equipo biomédico a utilizar con una fuente con actividad certificada.

#### **2.5.1. Insumos médicos**

**Guantes:** sirven para la protección de manos en caso de un derrame de material radiactivo.

**Dosímetro:** determina la cantidad de dosis absorbida en el organismo a una determinada profundidad.

**Mandiles plomados:** por principio de protección radiológica a mayor blindaje menos exposición.

**Jeringas:** se adquiere la cantidad actividad necesaria para colocar en el fantoma de tiroides y realizar la adquisición de imágenes.

**Fantoma:** maniquí que se utiliza para la calibración del equipo antes de realizar las mediciones al POE.

### **2.6. Equipos biomédicos**

En la adquisición de datos dosimétricos para el desarrollo y validación de la herramienta computacional propuesta en este trabajo de titulación, se cuenta con, la colaboración del personal ocupacionalmente expuesto del Hospital Carlos Andrade Marín y con la garantía del control de calidad de la gammacámara utilizada para la medición.

### 2.6.1. Gammacámara

Es un instrumento de medición utilizado en el servicio de Medicina Nuclear con una capacidad de convertir fotones emitidos por un radionucleido presente en el cuerpo en un pulso de luz y después en una señal de voltaje. Dicha señal se utiliza para generar una imagen de la presencia y distribución del radionucleido (Illanes y Etcheverry, 2016).

La gammacámara h3000ww infinia hawkeye Gp3 del Servicio de Medicina Nuclear del Hospital Carlos Andrade Marín, utilizada para la realización del presente trabajo cuenta con las siguientes características.

**Tabla 9-2:** Características del equipo

Rendimiento	Potencia máxima entregada al tubo	350 Watts	
	Tensión máxima	150 kev	
	Corriente de emisión máxima	3.0 mA	
Características de haz	Tamaño del punto focal	2x2 mm	
Accesorios	Colimadores	Energía baja – alta resolución	LEHR
		Energía media - multipropósito	MEGP
		Energía alta – propósito general	HEGP

**Fuente:** (Cajas Rojas, 2018)

**Realizado por:** Sierra Carmen, 2019.

- a. Colimador **LEHR**: presenta orificios paralelos que no generan pérdida de resolución ni modifica la posición de imágenes, además, cuenta con filtros de baja energía y alta



resolución para situaciones en las que sea necesario aumentar la resolución, con lo que se afirma llega a ser sensible en altas energías (García, 2005).

- b. Colimadores **HEGP**: formado por orificios paralelos que forman septos, los cuales, permiten adquirir mayor número de partículas gamma, por tanto, es útil para compuestos de alta energía como es; el Bario 133 (Ba-133) o el Yodo 131 (I-131), puesto que, cuenta con una sensibilidad de: (97 – 160) cpm/uCi según los datos del fabricante. Véase anexo **D**.

### 2.6.2. Detectores

Existen múltiples detectores, pero se hablará del tipo de detector que se utilizó para el desarrollo del presente trabajo de titulación, el detector gaseoso, está formado por un gas comprimido que está contenido por un recinto en el que se genera el campo eléctrico al paso de radiación ionizante generando ionizaciones en las moléculas del gas (A.Desgrez, 1980. pág. 6).

Principio de detección de una radiación involucra una interacción entre ésta y un medio detector, en otras palabras, la detección se genera por la transferencia de energía al medio detector, es decir, los iones son transportados por el campo eléctrico y llegan a los electrodos, acción que genera una señal eléctrica que es detectada y contada según sea la magnitud del campo eléctrico (DR. Engleert Dunphy, 1979. pág. 100).



**Figura 5–2:** Detector de radiaciones ionizantes - HCAM  
Realizado por: Sierra Carmen, 2019.

*Detector Geiger Müller:* Equipo que permite detectar la radioactividad de un objeto o lugar donde se encuentre material radiactivo, es decir, cuenta el número de partículas independientemente de su naturaleza o su energía, por lo que se conoce como; detector de radiaciones (Protección Radiológica de Chile y C. Sandoval, 2012).

### 2.6.3. Activímetro

El activímetro o también conocido como calibrador de dosis, es el instrumento básico que se utiliza para la medición de actividades de los radiofármacos que se utilizaran para administración a pacientes o control de calidad de equipos (Montoza Aguado et al. 2004), instrumento que es utilizado para determinar dosis necesaria para calibración de la gammacámara infinia.

**Tabla 10-2:** Características Generales

DESCRIPCIÓN	FUNCIÓN
<b>Pantalla</b>	LCD táctil que permite operar el equipo con dimensiones: 15.24 cm x 39.37 cm
<b>Dimensiones</b>	24.13 cm * 30.48 cm de profundidad * 30.48 de alto
<b>Selección de isótopos</b>	Cuenta con: 12 Botones de selección de isótopos, estos isotopos son: Tc99m, Tl201, I123, I131, Cs137, Co57, Xe133, Ga67, In111, F18, Y90 o Ba133.
<b>Detector</b>	Cámara de ionización que contiene Ar como gas de llenado.

**Fuente:**(Guillin J, 2018).

**Realizado por:** Sierra Carmen, 2019.



**Figura 6-2:** Activímetro -HCAM

**Realizado por:** Sierra Carmen, 2019.

El funcionamiento del activímetro se basa en una cámara de ionización de tipo pozo en cuyo interior se sitúa la fuente radiactiva que se desea medir, el gas de llenado de la cámara se encuentra a una presión bastante superior a la atmosférica, normalmente entre 10 y 20 atmósferas, con objeto de tener una buena eficiencia (Metrología et al, sd), y para asegurar el

correcto funcionamiento del equipo es necesario que se realice la prueba de linealidad que se muestra en el Anexo B.

## 2.7. Herramienta computacional

Una herramienta computacional (HC) consta de un entorno que posibilita el manejo y la realización de cálculos numéricos y simbólicos de forma rápida y precisa, además de, contar con características gráficas y de visualización avanzada aptas para utilizarse en investigaciones científicas y programas de ingeniería (Barragán D, 2008).

Matlab por ser un programa autónomo con interfaz gráfica de usuario (GUI), que automatiza una tarea o un cálculo y posibilita la elaboración de apps personalizadas que incluyen interfaces de usuario correspondientes al programa (MATHWORKS, s.d.), es utilizado en el presente trabajo de titulación por las características descritas a continuación que facilitan el uso:

- Callback: subrutina que se ejecuta al presionar un botón
- Guide: código que se escribe para ingresar a la interfaz gráfica de usuario.
- Handles: estructura general de una interfaz gráfica de usuario, puesto que, puede contener millones de objetos ejecutables o no ejecutables con variables locales.

Un entorno de desarrollo de GUI puede ser creado, a partir de, un editor de diseño GUIDE que se genera de manera automática en MATLAB para construir una interfaz que puede ser modificada para el comportamiento de la aplicación (app) (Guerrero, 2007).

**Tabla 11 -2:** Componentes de GUIDE

Control	Valor de estilo	Descripción
Check box	'checkbox'	Indica el estado de una opción o atributo Editable
Push Button	'pushbutton'	Invoca un evento inmediatamente Radio
Radio Button	'radio'	Indica una opción que puede ser seleccionada Toggle.
Static Text	'text'	Muestra un string de texto en una caja.

**Fuente:** (Barragán D, 2008)

**Realizado por:** Sierra Carmen, 2019.

### 2.7.1.Desarrollo de la Herramienta computacional

Se realiza la interfaz gráfica de la Herramienta Computacional (HC) nombrada como “Dosimetry” con códigos que se conocen para la programación.

#### 2.7.1.1. Creación de ventana de inicio.

Para el desarrollo de la ventana de inicio se ingresa a Matlab y desde el área de trabajo se realiza un llamado a GUIDE se selecciona la opción New Guide y se selecciona el tamaño de la ventana o matriz que contendrá todo el entorno grafico de la HC de “Dosimetry”.

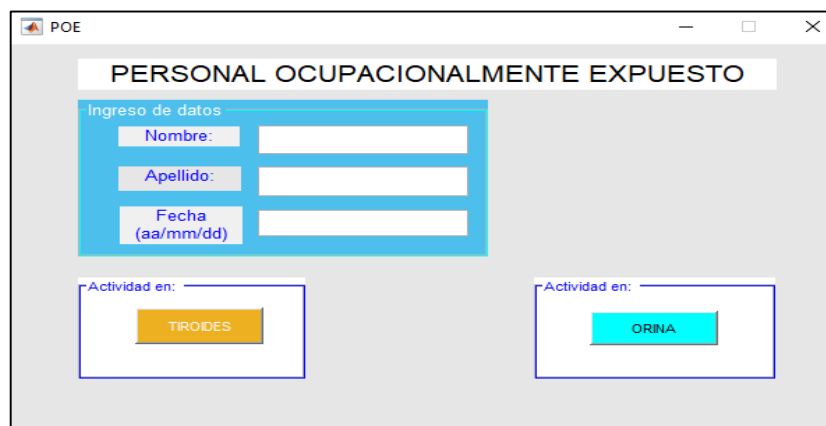


**Figura 7–2:** Ventana principal de la Herramienta Computacional

Realizado por: Sierra Carmen, 2019.

#### 2.7.1.2. Creación de icono para de usuario\_POE

Desde el área de trabajo del entorno GUIDE se selecciona iconos como: *edit text*, push botton y button, los cuales servirán para realizar el cálculo de dosis efectiva por simples o múltiples incorporaciones según el criterio del usuario.



**Figura 8–2:** Creación de ventanas

Realizado por: Sierra Carmen, 2019.

En dicha ventana se solicita el registro del personal ocupacionalmente expuesto que será evaluado y se escoge la opción análisis, para muestras in vivo debido a exposición externa se selecciona el icono actividad en: Tiroides y se ingresan los datos que solicita el programa para valorar la cantidad de dosis efectiva incorporada en el POE en su día de labores, por otra parte, es importante mencionar que cuenta con un icono para dosimetría in vitro, en la cual, se considera a la orina por ser una de las principales vías de evacuación de material radiactivo del organismo.

### 2.7.1.3. Creación de ventanas para cálculo en Tiroides y Orina

Se realiza el desarrollo de las ventanas correspondientes a tiroides y Orina para determinar la cantidad de dosis incorporada e inhalada según sea el caso.

The screenshot displays a software window titled "TIROIDES". The interface is organized into several functional areas:

- Top Center:** A large header box with the text "TIROIDES".
- Left Panel (Fc):** Contains a sub-header "Fc". It includes a "Calculo Fc" button, a "Mostrar FC131" button, a "% Error" label with an input field, and a label "Ingrese valor Fc" with an input field.
- Bottom Left Panel (Calculation of Incorporation):** Titled "Cálculo de la incorporación", it features input fields for "Ingrese el número de incorporaciones:" and "Ingrese el día:", a "Calcular I" button, and a label "La incorporación es:" followed by an output field.
- Right Panel (Calculation of Effective Dose):** Titled "Cálculo de la dosis efectiva comprometida", it includes a "Calcular E(50)" button, a label "La dosis efectiva comprometida es:", and an output field.
- Bottom Right Panel (Calculation of Effective Dose):** Titled "Cálculo de la dosis efectiva", it includes input fields for "Ingrese el valor de H(10)", a "Calcular E" button, a label "La dosis efectiva es:", and an output field.
- Bottom Center:** A "Regresar al registro" button.

**Figura 9–2:** Pantalla para cálculo de tiroides

Realizado por: Sierra Carmen, 2019.

**Figura 10–2:** Pantalla para el cálculo en Orina

**Realizado por:** Sierra Carmen, 2019.

En los íconos de: “cálculo de fc”, la herramienta computacional realiza el cálculo del factor de calibración previo al control de calidad del equipo con fuentes certificadas, tanto para tiroides como para orina, por tanto, es necesario contar con un fantoma con fuentes certificadas, que en este caso es: Ba-133 para tiroides.

Código:

```
global DE_T
DEC_T=str2num(get(handles.DEC_T,'String'));
H10_T=str2num(get(handles.H10_T,'String'));
DE_T=num2str(DEC_T+H10_T);
set(handles.DEC_T,'String',DE_T);

global DEC_T
I=str2num(get(handles.I_T,'String'));
DEC_T=num2str(I*1.1e-8);
set(handles.DEC_T,'String',DEC_T);
```

```

function Calculo_Fc_I_Callback(hObject, eventdata, handles)
global FC131 error
num=get(handles.NFC,'String');
n=str2num(num);
for i=1:n
    c(i)=inputdlg('Valor de cps de la fuente','Factor de Calibración');
end
y=str2double(c(1,:));
n=length(y);
sumatorio=0;
    for j=1:n
        sumatorio=sumatorio+y(j);
    end

    for j=1:n
        e(j)=inputdlg('Valor de cps del fondo','Factor de Calibración');
    end
z=str2double(e(1,:));
n=length(z);
sumatoriol=0;
    for j=1:n
        sumatoriol=sumatoriol+z(j);
    end

    sumt=((sumatorio-sumatoriol)/n);
a=get(handles.TC,'String');
b=get(handles.AF,'String');
TC=str2num(a);
AF=str2num(b);
cpasm=(sumt/TC);
AE=((AF*0.963)/0.878);
FC131=num2str(cpasm/AE);
std1=std(y);
std2=std(z);
stdt=std1-std2;
error=num2str((stdt/sumt)*100);
close(FC)

```

#### 2.7.1.4. Programación para cálculo de incorporación

En el botón “push button” tanto como en “edit text” se realiza la siguiente programación, en la que, se considera a las variables I\_O para incorporación en orina y la variable I\_T para tiroides.

Código:

```

global mt I_T FC_T
num=get(handles.n_inc,'String');
n=str2num(num);
for i=1:n
    c(i)=inputdlg('Valor de cps del POE','Incorporacion');
end

```

```

%FC=str2num(get(handles.Fc_T,'String'));
FC_T=str2num(get(handles.IFc_T,'String'));
M=(sumt/FC_T);
I1=(M/mt);
I_T=num2str(I1);
set(handles.I_T,'String',I_T);

```

Con la finalidad de que el programa sea capaz de realizar el cálculo de dosis efectiva y dosis efectiva comprometida a 50 años basándose en las cuentas adquiridas de manera visual desde el equipo utilizado (gammacámara).

Se realiza la programación que se muestra a continuación considerando el caso de múltiples incorporaciones como es el caso de un incidente radiológico.

Código:

```

global DE_T
DEC_T=str2num(get(handles.DEC_T,'String'));
H10_T=str2num(get(handles.H10_T,'String'));
DE_T=num2str(DEC_T+H10_T);
set(handles.DE_T,'String',DE_T);

```

#### 2.7.1.5. Hoja de almacenamiento de datos

La base de almacenamiento de datos se realiza considerando un periodo de un mes quedando de la siguiente manera:

The screenshot shows a software window titled "POE\_R" with a light blue background. It contains two identical data entry forms, one for thyroid results and one for urine results. Each form has a title "RESULTADOS POE" and a table with the following columns: FECHA, MUESTRA DE ANÁLISIS, NOMBRE, APELLIDO, FC131, I, e(50), and E(50). Below each table are two buttons: "Mostrar resultados Tiroides" (or "Mostrar resultados Orina") and "Guardar resultados Tiroides" (or "Guardar resultados Orina").

**Figura 11–2:** Hoja de registro de datos de la Herramienta Computacional

Realizado por: Sierra Carmen, 2019.



## **CAPITULO III**

### **3. MARCO METODOLÓGICO**

El método de muestreo que se utiliza para el trabajo de titulación es sistemático estratificado, ya que, se seleccionan las muestras siguiendo un intervalo de tiempo prefijado y la elección de la muestra para el análisis de dosis efectiva del POE depende del material radiactivo y de la principal vía de excreción, de la forma fisicoquímica de la incorporación, del modelo biocinético y de la facilidad de obtención de muestras para análisis e interpretación de resultados (OIEA, 2004).

La metodología implementada se realiza en dos fases.

#### **Recolección de datos:**

Con la finalidad de determinar dosis efectiva comprometida del POE se implementa un método para valoración de incorporación de material radiactivo por inhalación:

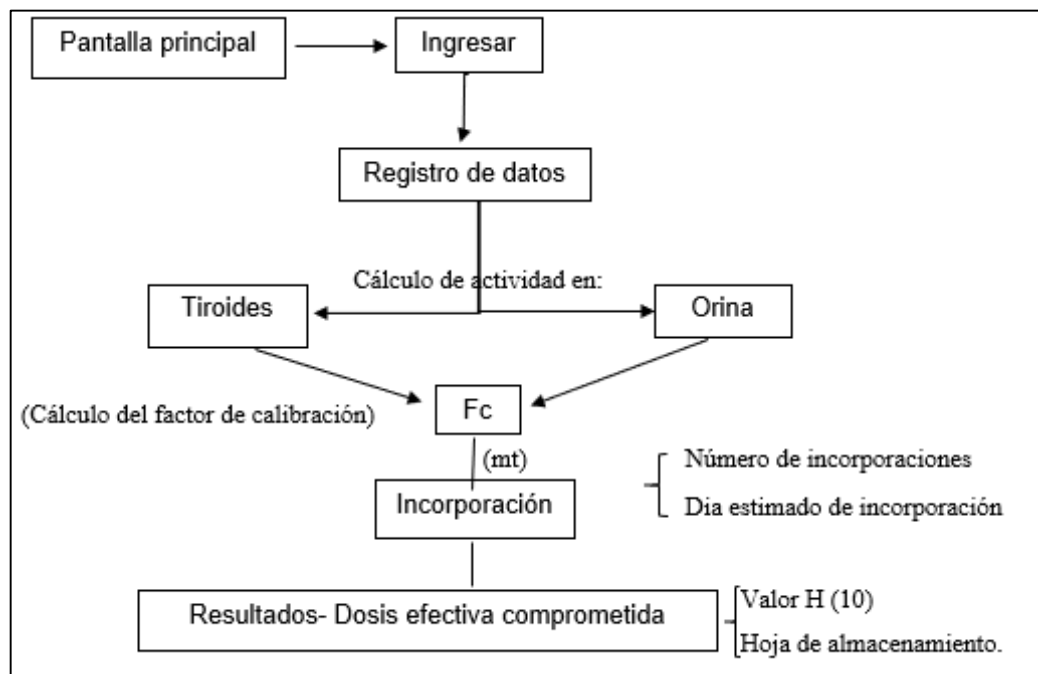
1°. Según el análisis realizado a través del modelo biocinético, la región más comprometida debido a la manipulación de yodo es la tiroides, por tanto, se realiza el control de calidad en eficiencia en energía de la gammacámara, y con la implementación de un fantoma de cuello y tiroides de Ba-133 con una actividad certificada y corregida a la fecha, se calcula la AMD del equipo y el factor de calibración para yodo, el cual, es utilizado para el cálculo de incorporaciones en dicha región.

2°. Para realizar la valoración de actividad en muestras biológicas o in vivo, una vez que haya manipulado I-131, ya sea por; fraccionamiento, elución y/o administración, se coloca en la gammacámara al POE en posición supina y se realiza la adquisición de imágenes, colocando el colimador de baja energía a 10 cm de la región a analizar durante 300 segundos, el número de cuentas adquiridas alrededor de una región de interés (ROI), son utilizadas con el factor de calibración para yodo calculado y los valores de retención  $m(t)$  descritos en el capítulo II e implementados en la Herramienta Computacional desarrollada llamada “DOSIMETRY”, para la valoración de actividad incorporación en el cuerpo y dosis efectiva.

Es importante mencionar que, al realizar el análisis de muestras biológicas, como es: la orina, el procedimiento teóricamente es muy similar, pero, se debe tener cuidado en su manejo, es decir; es necesario evitar la transferencia de sustancias radiactivas o biológicas durante la manipulación, además, antes de realizar la adquisición se debe contar con una fuente con actividad certificada en el orden de mililitros y calcular el factor de calibración como se realiza para tiroides. Para obtener un numero de cuentas, se debe solicitar al POE la muestra de orina todas las mañanas con volúmenes de 100 ml en una botella de cultivo de 250ml a las 24 horas de haber ocurrido la incorporación<sup>1</sup> (OIEA, 2004), después, en la imagen gammaográfica obtenida se selecciona una ROI y las cuentas adquiridas pueden ser resueltas por la HC desarrollada en este trabajo de titulación.

### Metodología para procesamiento de datos:

Una vez adquiridos los valores en cuentas por segundo (cps) de la muestra biológica, se realiza el cálculo de la actividad incorporada en el cuerpo utilizando el factor de calibración que corresponde a la actividad de la fuente con la que se realice el control de calidad, y con dichos datos obtenidos se realiza la evaluación de dosis efectiva comprometida del Personal Ocupacionalmente Expuestos (POE), mediante el uso de la herramienta computacional desarrollada, a través de ecuaciones logarítmicas y coeficientes de dosis efectivos descritos en este documento.



<sup>1</sup> La orina no debe recogerse en materiales contaminados o áreas, para asegurar que la actividad medida en la muestra sea representativa del cuerpo, además, debe estar claramente marcada para mostrar la identidad del trabajador con la fecha y hora de recogida de la muestra.

## **Diagrama 1. Metodología de procesamiento de datos**

Realizado por: Sierra Carmen, 2019.

### **3.1. Tipo de investigación**

La investigación que se pretende realizar en el trabajo de titulación es de tipo experimental puesto que se toman muestras biológicas in- vivo e In vitro, se utilizan los coeficientes de dosis efectiva comprometida y valores de excreción (mt) para yodo 131, aspectos a considerar para una dosimetría rutinaria (todos los días) o de control (cada 5 días) en POE en el área de Medicina Nuclear y correlacional, puesto que, determina la relación que existe entre la incorporación de yodo 131 (I-131) en muestras biológicas con el tiempo.

### **3.2. Localización estudio**

El presente trabajo de titulación se realizará en la ciudad de Quito en el Hospital Carlos Andrade Marín en el área de Medicina Nuclear cuyo propósito es determinar la dosis incorporada en personal ocupacionalmente expuesto

### **3.3. Población de estudio**

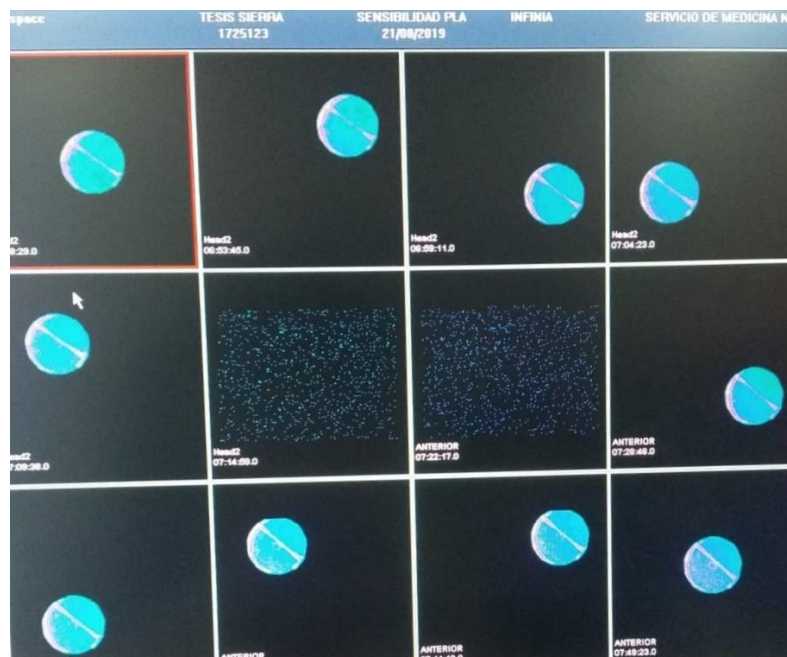
Todo el personal ocupacionalmente expuesto del área de medicina nuclear que laboran realizando actividades para tratamiento o diagnóstico, fraccione o monitoree a pacientes y recepción de material (I-131) en la actualidad en el servicio de Medicina Nuclear son 6.

### **3.4. Método de Calibración de gammacámara.**

Para realizar la aplicación de los métodos de medición en muestras biológicas in vivo o in vitro es necesario realizar la calibración de la gammacámara h3000ww infinia hawkeye Gp3 de acuerdo al uso, en este caso, se determinará la eficiencia de detección o la sensibilidad del equipo que dependerá de varios parámetros a analizar como son: fondo donde se encuentre el equipo, tiempo de adquisición y cuentas adquiridas de una fuente con actividad conocida.

- Se prepara la muestra de 2mCi de tecnecio en un recipiente no absorbente con diámetro de: 20 mm.
- Se selecciona en el equipo el tiempo de adquisición de la imagen y el tipo de material que se desea medir.

- Se colocan colimadores de alta energía baja resolución, puesto que, se requiere detectar el número de cuentas correspondientes a la actividad utilizada<sup>2</sup>.



**Figura 1–3:** Fantoma con actividad de 2mCi para determinación de sencibilidad planar y eficiencia energética.

**Realizado por:** Sierra Carmen, 2019.

Dado que la Actividad Mínima Detectable (AMD) es el valor verdadero más pequeño de una cantidad de medida que asegura una probabilidad específica que es detectable durante un proceso de medición cuando el radionucleido esté realmente presente (NUÑEZ, 2017. pág. 32), es importante determinar la AMD para la Gammacámara infinia, a través del número de cuentas registradas por el equipo diferenciando significativamente a la radiación de fondo (A Rodríguez-Laguna, E Estrada-Lobato, ME Brandan, 2010).

### 3.4.1. Pruebas de Calibración

- El fantoma de tiroides sin actividad es colocada muy cerca del colimador del cabezal de detección, posición en la que se adquiere el fondo a través del número de conteos. La medición fue realizada 5 veces con un tiempo de conteo de 300 segundos en la matriz de 512 x 512 según la experiencia del personal del área Técnica.

<sup>2</sup> Véase anexo E.

- b. Se colocó al fantoma de tiroides con solución de Bario -133 (Ba-133) con actividad certificada<sup>3</sup> y se repite la geometría que se utilizó para determinar el fondo, y al igual que el paso anterior, se procedió a medir 5 veces (Lugo, 2012, p.34).



**Figura 2–3:** Simulador de tiroides

**Realizado por:** Sierra Carmen, 2019.

#### *3.4.1.1. Calibración en sensibilidad*

La determinación de la sensibilidad del equipo, se realiza colocando a la fantoma de cuello y tiroides con una actividad certificada de Ba, puesto que, su energía se aproxima a la energía del I-131, para cada uno de los detectores se toma una distancia de 10 cm de los detectores con el colimador de alta energía en un tiempo de adquisición de 300 s, considerando que el material radiactivo utilizado para dicha medición es bario y lo que se desea detectar el yodo se determina el factor de calibración en cpm/Bq, el cual, se encuentra al dividir el promedio de las tasas de conteo de al menos 3 mediciones independientes para la actividad del simulador en Bq<sup>4</sup>.

#### *3.4.1.2. Actividad Mínima Detectable*

Como ya se ha mencionado en este capítulo, la AMD es la capacidad del equipo para diferenciar valores de conteos de personas contaminadas y no contaminadas, se representa como el número de cuentas que registra la gammacámara, debido a la presencia de material radiactivo y al background que es al número de cuentas debido a la radiación de fondo, por lo que, para determinarla se utiliza la ecuación que se presenta a continuación (A Rodríguez-Laguna, E Estrada-Lobato, ME Brandan 2010):

**Ecuación 4:** Actividad mínima detectable.

---

<sup>3</sup> Actividad de referencia véase Anexo B

<sup>4</sup> Véase protocolo anexo E.

$$\text{AMD (Bq)} = \frac{4.65\sqrt{B*t} + 3,0}{f*t}$$

**Dónde:**  $B$ , es la tasa de conteo de la radiación de fondo, medida en cuentas por minuto (cpm),  $f$  es la sensibilidad (cpm/uCi) de la cámara gamma,  $t$  es el tiempo de adquisición de las imágenes medido en minutos.

### 3.5. Dosimetría Interna

#### 3.5.1. Incorporación

Para realizar las mediciones de actividad incorporada en el POE se realizó el monitoreo de todo el cuerpo con detectores de contaminación externa, después se retiran batas, chalecos y previo lavado de manos. Se realiza la medición del personal ubicándolo de cubito supino en la camilla de la gammacámara durante 300 segundos, centrando las medidas en el fotopico correspondiente para I-131 determinado en la calibración. Al concluir el tiempo establecido para la medición, se determinó el número total de conteos (Lugo, 2012), una vez adquirida la imagen gammagráfica se consideran las cuentas totales, puesto que, corresponden al área tiroidea.



**Figura 3–3:** Posicionamiento del POE en la Gammacámara

**Realizado por:** Sierra Carmen, 2019.

Una vez adquiridas las cuentas totales despreciando el fondo o background de las cuentas medidas en la imagen gammagráfica, se calcula la actividad incorporada considerando el contenido corporal medido o la tasa de excreción denotada como: “ $M$ ”, en función del factor de calibración para yodo fijado previamente durante la calibración del equipo con una fuente puntual de Ba-133, cantidad que se divide para la fracción “ $m(t)$ ” que generalmente es en días después de que haya ocurrido la ingesta, la cual, representa la ingesta retenida en todo el cuerpo, dicho proceso es que es considerado como medición directa, otro método de medición sobre la

ingesta retenida en todo el cuerpo puede ser realizando mediciones indirectas o con medición de excretas en tiempo un “*t*” establecido para muestras in vitro y fondo (F. Paquet et al, 2015).

**Ecuación 5:** Incorporación para muestras biológicas in vivo e in vitro.

$$I = \frac{M}{m(t)}$$

Donde:

$$M = \frac{POE (cps) - fondo(cps)}{Fc (Bq)} \quad Fc = \frac{fuente (cps) - fondo(cps) / t_{conteo} (s)}{A_{fuente} (Bq)}$$

En la siguiente tabla 1-3, se representan los valores de diferentes tiempos de medición de la excretas según el Organismo Internacional de Energía Atómica (IAEA, 2004), además de, valores de fracción de retención denotados como; **m(t)**, correspondientes a orina y tiroides que específicos en este caso para el material radiactivo (I-131), tanto para casos de inhalación como para casos de ingestión involuntaria en diferentes órganos (NUÑEZ, 2017).

**Tabla 1-3:**Valores de fraccion de incorporación.

TIEMPO (DIAS)	TIROIDES <b>m(t)</b>	ORINA <b>m(t)</b>	TIEMPO (DIAS)	TIROIDES <b>m(t)</b>	ORINA <b>m(t)</b>
1	$1.20 \times 10^{-1}$	$2.8 \times 10^{-1}$	6	$8.20 \times 10^{-2}$	$9.6 \times 10^{-5}$
2	$1.20 \times 10^{-1}$	$2.3 \times 10^{-2}$	7	$7.40 \times 10^{-2}$	$1 \times 10^{-4}$
3	$1.10 \times 10^{-1}$	$1.4 \times 10^{-3}$	8	$6.80 \times 10^{-2}$	$1.1 \times 10^{-4}$
4	$9.9 \times 10^{-2}$	$1.5 \times 10^{-4}$	9	$6.20 \times 10^{-2}$	$1.1 \times 10^{-4}$
5	$9.00 \times 10^{-2}$	$8.9 \times 10^{-5}$	10	$5.60 \times 10^{-2}$	$1.1 \times 10^{-4}$

Fuente: ( IAEA, 2004).

Realizado por: Sierra Carmen, 2019

### 3.5.2. Incorporación por múltiples medidas.

El cálculo de la actividad incorporada de I-131 por múltiples sucesos requiere la solución de ecuaciones diferenciales de primer orden, dicho cálculo se basa en los valores de entrada de la deposición fraccional en el tracto respiratorio informados en la Publicación 66 de la ICRP (IAEA, 2004).

Para el caso donde se dispone de múltiples medidas obtenidas de técnicas de bioensayo la estimación de incorporación y de dosis se deben realizar ajustando los valores de las funciones de retención con todos los resultados de los diferentes tipos de medidas.

La ecuación que se detalla en el Modelo Estadístico, es utilizada en el cálculo de dosis e incorporación, está basada en el método de máxima probabilidad suponiendo que los datos se caracterizan por una distribución logarítmica normal.

#### 3.5.2.1. Método estadístico

Existen numerosos métodos estadísticos para el ajuste como son: el método de máxima probabilidad, la técnica Bayensiana, mínimos cuadrados y la media geométrica de estimaciones puntuales, de los cuales se escoge el que se explica a continuación.

El modelo estadístico en el que se enfoca el trabajo de titulación es el método de máxima probabilidad, puesto que, es la función de máxima densidad de observar el dato de la medida que resulta de múltiples incorporaciones y de valores  $m(t)$ , lo que conduce a la siguiente ecuación para mejorar la estimación de incorporación.

**Ecuación 6:** Incorporación en múltiples mediciones

$$l_n(I) = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{\ln(I_i)}{[\ln(SFi)]^2}}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{[\ln(SFi)]^2}}$$

Dónde:

- Las siglas: **ln(I)** es la media ponderada de los logaritmos  $\ln(I_i)$  de las estimaciones individuales de la incorporación obtenida de cada medida individual (I).
- El factor de dispersión se denota con sus siglas en ingles SFi, por su nombre en inglés Scattering Factor.

#### 3.5.2.2. Factor de dispersión

El factor de dispersión Scattering Factor (SF), es un factor para una distribución logarítmica normal y se describe mediante la siguiente relación:

**Ecuación 7:** Factor de dispersión para incorporación.



$$\text{Ln (SFA,i)} = \frac{\sigma Mi}{Mi}$$

Dónde:

- $Mi$ , resultado de la medición de muestras (Bertelli et al. 2008, p.363).
- $\sigma Mi$ , es la desviación estándar de las medidas  $Mi$ .

### 3.6. Método de cálculo de dosis efectiva

La determinación de Dosis efectiva comprometida  $E(50)$  se realiza de acuerdo a lo que menciona la ICRP 66 de manera general como:

**Ecuación 8:** Dosis efectiva considerando un via de incorporación.

$$E(50) = I_{j,inh} * e(50)_{j,inh}$$

De acuerdo a la fórmula establecida la dosis efectiva comprometida en el trabajador ocupacionalmente expuesto (POE), se puede evaluar mediante la incorporación del radionucleido por inhalación e ingestión a partir de mediciones biológicas (in vivo o in vitro) la cual se evalúa de acuerdo a la siguiente ecuación:

**Ecuación 9:** Dosis efectiva considerando dos vías de incorporación

$$E(50) = e_{j,inh}(50) * I_{j,inh} + e(50)_{j,ing} * I_{j,ing}$$

Dónde:  $e(50)_{j,ing}$  y  $e(50)_{j,inh}$ : representan los coeficientes de dosis efectiva comprometida a 50 años por actividad incorporada debido a ingestión e inhalación, mientras que,  $(I_{j,inh})$  y  $(I_{j,ing})$  representan la incorporación del isótopo en días, respectivamente los cuales son mencionadas en la Tabla 3-2 (ICRP *Publicación 103*, 2007).

El cálculo de dosis efectiva comprometida  $E$ , se realiza combinando la evaluación de exposición externa ocupacional y la incorporación del radionucleido según la ecuación:

**Ecuación 10:** Dosis efectiva comprometida

$$E = H_p(10) + E(50)$$

**Siendo:**  $H_p(10)$  el equivalente de dosis personal debida a la exposición externa y  $E(50)$ , la dosis efectiva comprometida a 50 años de la exposición interna (ICRP *Publicación 103*, 2007).

**Tabla 2-3:** Coeficientes de dosis efectiva comprometida por inhalación e ingestión para POE.

Isótopo	Periodo de semidesintegración físico	Inhalación				Ingestión	
		Tipo	$F$	$e(g)I_{um}$	$e(g)5_{um}$	$fl$	$e(g)$
<b>I-131</b>	8.02d	F	1	$7.6 \times 10^{-09}$	$1,1 \times 10^{-08}$ (Sv/Bq)	1	$2,2 \times 10^{-08}$ (Sv/Bq)

**Fuente:** (OIEA, 2004. Pag. 319), (ECKERMAN, HARRISON, MENZEL Y CLEMENT, 2012).

## CAPITULO IV

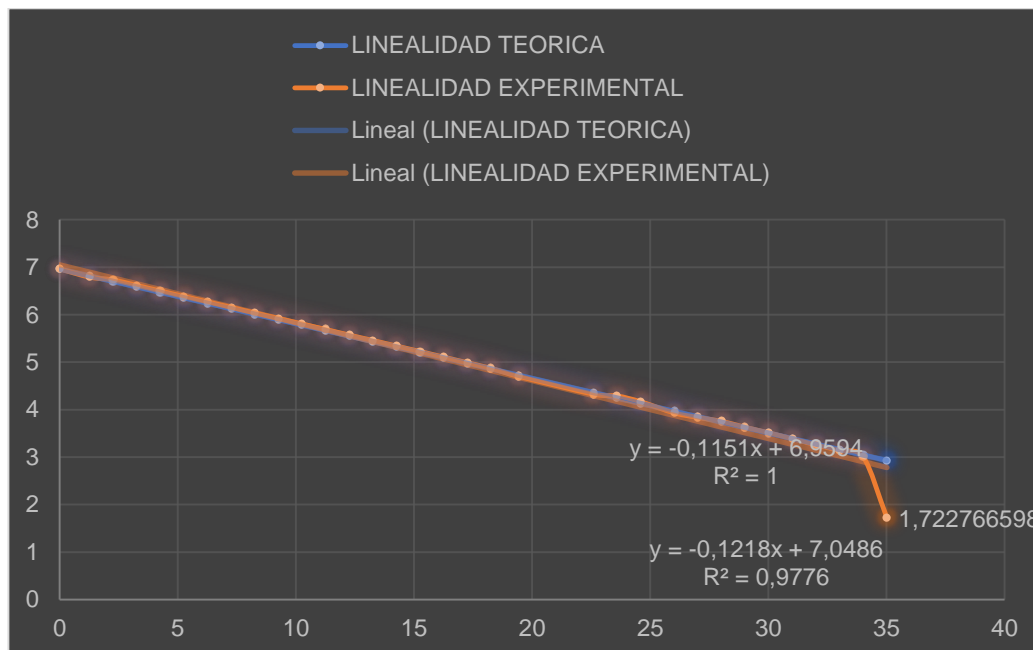
### 4. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

#### 4.1. Calibración del activímetro ATOMALAB

Es necesario saber si el equipo tiene buena linealidad, puesto que, es necesario para las muestras a tomar para la calibración en eficiencia o sensibilidad de la gammacámara.

Para la realización de esta prueba se requiere la preparación de una jeringa de 3ml que contenga una fuente de 1 mCi de Tecnecio 99 meta estable (Tc-99mt) disueltos en 2ml de solución, toma el tiempo de preparación y se programa el tiempo de medición en el equipo, que, para nuestro caso fue cada hora durante 24 horas.

**Gráfico 1-4:** Linealidad del Activímetro ATOMALAB



Realizado por: Sierra Carmen, 2019.

- Se pudo comprobar que el equipo se encuentra en buenas condiciones de medida, puesto que, la respuesta es lineal con respecto a la actividad.

#### 4.2. Prueba de sensibilidad con colimadores de alta y media energía.

El cálculo realizado con colimadores de baja energía se presenta en el **anexo H**, dicho cálculo se realiza específicamente para estos colimadores de acuerdo con la experiencia del personal, ya que, cuentan con una sensibilidad de detección es muy alta al mostrar que la diferencia en eficiencia entre colimadores es del 5% y la eficiencia de sensibilidad con respecto a datos de fábrica es del 9%, resultados con un porcentaje de error aceptable, por tanto, válidos para el cálculo de la actividad mínima detectable del equipo, además de ser datos que verifican el funcionamiento del equipo por compararlos con los del fabricante.

**Tabla 1-4:** Sensibilidad de la gammacámara para el detector 1

Detector 1	Cpm	Sensibilidad Cada medida	Sensibilidad promedio
	131926440	146,584933	731,145867
	131201640	145,7796	
	133727940	148,5866	
	128663040	142,958933	
	132512220	147,2358	
Promedio			146,229173

**Realizado por:** Sierra Carmen, 2019.

**Tabla 2-4:** Sensibilidad de la gammacámara para el detector 2

Detector 2	Cpm	Sensibilidad Cada medida	Sensibilidad promedio
	411136,623	137,045541	697,288073
	415126,643	138,375548	
	419155,259	139,71842	
	423222,847	141,074282	
	423222,847	141,074282	
Promedio			139,457615

**Realizado por:** Sierra Carmen, 2019.

**Tabla 3-4:** Porcentaje de error entre medidas

<b>Porcentaje con datos de fabrica</b>	<b>9%</b>
<b>Porcentaje entre colimadores</b>	<b>5%</b>

Realizado por: Sierra Carmen, 2019.

#### 4.2.1. Cálculo de la actividad mínima detectable

Para determinar la actividad mínima detectable AMD que tiene la Gammacámara Infinia se realiza el cálculo del factor de calibración.

**Tabla 4-4:** Cálculo de actividad de la fuente por decaimiento.

DATOS		
		4006
Fecha de Calibración de Fuente (d/m/a)	<b>Fecha (o)</b>	17-set-13
Fecha a la que desea Calcular la Actividad de la Fuente (d/m/a) - "Fecha Actual"	<b>Fecha (f)</b>	27-ago-19
Tiempo Transcurrido desde la Fecha de Calibración de la Fuente hasta la fecha de cálculo (días)	<b><math>\Delta t</math></b>	2170,00
Periodo de semidesintegración Ba-133 (años)	<b><math>T_{1/2}</math></b>	10,51
Actividad Corregida "Final" de Ba-133 (Fecha de Cálculo)		2706,62

Realizado por: Sierra Carmen, 2019.

**Tabla 5 -4:** Corrección en el tiempo de la actividad de la fuente de Bario 133

ACTIVIDAD POR DECAIMIENTO RADIATIVO   Ba-133			
Descripción	Valor	"Unidad"	
A0 (Bq Ba-133)	4006,00	Bq	
Datos de creación	17-set-13	dd/mm/aa	
Datos a la fecha	27-ago-19	dd/mm/aa	
actividad a la fecha	2706,58	Bq	
Incerteza	0	Bq	
Fecha de medición	Tiempo recorrido	Actividad corregida (Bq de Ba-133)	Inc (Bq)
27-ago-19	2170	2706,62	0

Realizado por: Sierra Carmen, 2019.

- Considerando que la unidad de la actividad corregida es la misma unidad de la actividad inicial, se realiza el cálculo de la actividad considerando su decaimiento en el tiempo, con lo que, se obtiene una actividad de 2706,62 Bq, por tanto, el fantoma de tiroides es válido para ser utilizado como fuente puntual de referencia.

**Tabla 6-4:** Factor de calibración para Yodo 131

FACTOR DE CALIBRACIÓN				
FUENTE RADIATIVA	Ba-133			
CODIGO DE LA FUENTE	TIR # 5			
ACTIVIDAD CERTIFICADA (Bq)	4006,00	FECHA DE CERTIFICACIÓN		17-set-13
ACTIVIDAD CORREGIDA (Bq)	2706,62	FECHA DE CALCULO		27-ago-19
DETECTOR	NaI (TI)	Yoduro de sodio dopado con talio		
DISTANCIA FUENTE DETECTOR (cm)	10			
GEOMETRIA	SIMULADOR-DETECTOR			
DATOS GENERALES	BACKGROUND	6677	ENERGÍA (keV)	364
TIEMPO DE CONTAJE (s)	300			
CONTAJE	CUENTAS ÁREA			Error
1	2092096,00			0,05
2	2180016,00			0,06
3	2222121,00			0,05
4	2137706,00			0,05
5	2201859,00			0,05
6	2098773,00			0,05
7	2086693,00			0,05
8	2028798,00			0,05
9	2043383,00			0,05
10	2093536,00			0,05
MEDIA	2118498,10			0,05
CPS MEDIO	7061,66			-
DESVIACIÓN ESTANDAR	65191,47			0,00
%	3,08%			6,20%
FACTOR DE CALIBRACIÓN (Ba-133)	2,60904			cps/Bq

Realizado por: Sierra Carmen, 2019.

- Con base en la actividad corregida a la fecha de adquisición de datos se procede a realizar el cálculo para hallar el factor de calibración de Ba - 133, y después, utilizarlo en el cálculo del factor de calibración para el compuesto de interés, que este caso es, el yodo 131.

**Tabla 7- 4:** Factor de Calibración para Yodo 131

ACTIVIDAD EQUIVALENTE DE I-131.		
ACTIVIDAD CORREGIDA DE Ba-133	2706,62	Bq
<b>RN</b>	<b>Energías (keV)</b>	<b>Intensidad de Emisión <math>\square</math></b>
<b>Ba-133</b>	356,01	0,620
	302,85	0,183
	383,85	0,089
	276,39	0,071
	$\Sigma$	0,963
<b>I-131</b>	364,48	0,817
	284,30	0,061
	$\Sigma$	0,878

<b>A I-131 (Equivalente)</b>	2968,65	Bq
<b>FACTOR DE CALIBRACIÓN I-131</b>	2,37875	<b>cps/Bq</b>

Realizado por: Sierra Carmen, 2019.

- A partir del factor de calibración hallado partiendo desde la fuente de referencia de Bario 133, se puede realizar el cálculo de actividad incorporada y dosis.

**Tabla 8 - 4:** Actividad mínima detectable de la gammacámara

ACTIVIDAD MÍNIMA DETECTABLE (AMD).			
<b>FECHA</b>	27-ago-19		
<b>TIEMPO (s)</b>	300		
<b>CONTAJE (INTEGRAL)</b>	532		
<b>CPS</b>	1,77		
FC I-131 (cps/Bq)	2,37875		
TIEMPO (min)	<b>TIEMPO (s)</b>	<b>CUENTAS</b>	<b>AMD (Bq)</b>
<b>5</b>	300,00	6677,00	<b>1</b>

Realizado por: Sierra Carmen, 2019.

- La AMD del equipo a utilizar para la adquisición de los datos de incorporación es: 1Bq, lo que significa que por debajo de este valor no habrá detección de radiación en la gammacámara.

#### **4.3. Desarrollo de la herramienta Computacional**

En el capítulo III se señaló que uno de los elementos más importantes a considerar para el desarrollo de la herramienta computacional, es que, esté enfocada en la evaluación o determinación de dosis efectiva y que cuyos métodos de cálculo estén basados en recomendaciones internacionales.

En el entorno grafico de usuario GUIDE, se realiza el desarrollo de la herramienta computacional llamada “DOSIMETRY”, puesto que, existe la posibilidad de agregar cuadros de diálogo, controles de interfaz de usuario y contadores.

#### **4.4. Validación de resultados**

Se realizan los cálculos de dosis efectiva y dosis efectiva comprometida del POE con datos que fueron escogidos al azar con la finalidad de implementar la herramienta computacional obteniendo resultados que fueron validados con cálculos manuales.



**TIROIDES**

**Fc**

Calculo Fc    Mostrar FC131

2.3712    % Error    3.087

Ingrese valor Fc    2.3712

**Cálculo de la dosis efectiva comprometida**

Calcular E(50)

Dosis efectiva comprometida a 50 años (Sv): 0.0001889

**Cálculo de la incorporación**

Ingrese un número de mediciones a realizar (n valores): 10

Ingrese el día: 1

Calcular I

Incorporación (Bq): 17173.091

**Cálculo de la dosis efectiva**

Ingrese el valor de H(10) en (Sv):  $0.5 \cdot 10^{-3}$

Calcular E

Dosis efectiva (Sv): 0.0006889

Regresar al registro

**Figura 1– 4:** Cálculo en la Herramienta Computacional.

Realizado por: Sierra Carmen, 2019.

RESULTADOS POE

	FECHA	MUESTRA DE ANÁLISIS	NOMBRE	APELLIDO	FCI131	I	e(50)	E(50)
1	2019 / 08 / 05	TIROIDE	LICENCIADO	uno (1)	2.3712	17173.091	0.0001889	0.0006889

Mostrar resultados Tiroides

Guardar resultados Tiroides

**Figura 2–4:** Representación de resultados.

Realizado por: Sierra Carmen, 2019.

### Cálculo manual.

**Tabla 9 - 4:** Datos adquiridos del POE

Fondo: 300(cps)	Tiempo de adquisición: 300 (s)	m(t): 1 día
-----------------	--------------------------------	-------------

Nombre del POE	Factor de calibración 2, 3712 cps/Bq	
Licenciado 1	5390 (cps)	5080 (cps)
	5235 (cps)	5051 (cps)
	5265 (cps)	5135 (cps)
	5000 (cps)	5200 (cps)
	5300 (cps)	5209 (cps)
PROMEDIO	51865/10 = 5186.5	

Realizado por: Sierra Carmen, 2019.

Fracción de retención en muestra in vivo (tiroides):

$$M = \frac{cps - fondo}{Fc}$$

$$M = \frac{(5186.5 - 300) cps}{2,3712 cps/Bq}$$

$$M = \frac{4886,5 cps}{2,3712 cps/Bq}$$

$$M = 2060,77 Bq$$

$$\text{Incorporación (I)} = \frac{M}{m(t)}$$

$$I = \frac{2128,30}{1,20 \times 10^{-1}} = 17\,173,09 Bq$$

**Dosis efectiva comprometida a 50 años.**

$$E(50) = I \text{ inh} * e(50)$$

$$E(50) = 17\,173,09 Bq * 1,1 \times 10^{-8} Sv/Bq = 0,00019 Sv$$

**Dosis efectiva comprometida**

$$E = H(10) + E(50)$$

$$E = 0.5 * 10^{-3} Sv + 0,00019 Sv = 0.00069 Sv = 0.69 mSv$$



## CONCLUSIONES

Al realizar el análisis del modelo biocinético teóricamente, se pudo comprender que, en el tracto respiratorio debido a la inhalación por gases de tipo F, existe una afección del 81.96% y una de las zonas o regiones más afectadas de acuerdo al material radiactivo manejado del total en todo el tracto respiratorio son las regiones ET1 y ET2 o región tiroidea en un 73.76%, seguido del tracto urinario debido a su evacuación a las 24 horas en baja proporción con referencia al límite de incorporación anual, que menciona no debe exceder la unidad en mSv en un año de trabajo.

Se ha determinado la cantidad de actividad retenida en tiroides con la implementación de la Gammacámara infinia debido a su alta sensibilidad, puesto que, cuenta con una actividad mínima detectable (AMD) de 1Bq, entonces se la considera apta para analizar muestras, ya sean, in vivo, como; la tiroides ó, in vitro, como; la orina, a través del número de cuentas obtenidas de imágenes gammagráficas y con el factor de calibración estimado previamente, de acuerdo, a la fuente de referencia en el cálculo de AMD.

Se diseñó una herramienta computacional en Matlab, que puede estimar la actividad incorporada y la dosis efectiva comprometida a 50 años del POE en tiroides, y que a su vez es interactiva con el usuario, además, teóricamente se comprobó que realiza el cálculo de dosimetría in vitro, motivo por el cual, se implementó la metodología en mención en la Herramienta Computacional.

Se realizó cálculos manuales con valores  $m(t)$  adquiridos de referencia del software AIDE<sup>5</sup>, datos con los cuales, se certificó la eficiencia de los cálculos, debido a que, los resultados obtenidos tanto de manera manual y computacional no difieren, por tanto, se establece a la Herramienta Computacional como un medio cálculo válido para determinación de dosis efectiva del personal ocupacionalmente expuesto del área de Medicina Nuclear.

---

<sup>5</sup> Ver anexo H

## **RECOMENDACIONES.**

El equipo utilizado para realizar mediciones de incorporación de material radiactivo fue la gammacámara la cuál puede ser utilizada por su alta sensibilidad siempre que se cuente con una fuente de actividad certificada con la que se pueda determinar la AMD del equipo, debido que, puede estar atrofiada por su uso diario.

En la Gammacámara para obtener un porcentaje de error pequeño y aceptable, entre los resultados del fabricante y los resultados teóricos, es pertinente reproducirlos en las mismas condiciones.

Para elegir el valor apropiado de  $m(t)$  es necesario conocer la ruta y el momento de la incorporación, puesto que, la principal incertidumbre cuando se realiza la interpretación de las mediciones es la valoración de estos parámetros.

Es importante la certificación de una fuente puntual en el orden de mililitros (ml) para la calibración de la gammacámara y para el correcto uso de dosimetría in vitro propuesto en la Herramienta computacional, para obtener valores reales como ocurre con la dosimetría in vivo.

Debido a la incorporación que se genera al realizar actividades de fraccionamiento y recepción de material radiactivo se sugiere, una rotación diaria del personal encargado para realizar dicha actividad y el monitoreo con detectores en manos, para disminuir la cantidad de actividad incorporada durante el día en el desarrollo de actividades.

## **GLOSARIO.**

**POE:** Personal Ocupacionalmente Expuesto

**I-131:** fuente de Yodo 131

**ICRP:** Comisión Internacional de Protección Radiológica.

**OIEA- IAEA:** Organismo Internacional de Energía Atómica.

**AIDE:** Activity and Internal Dose Estimates.

**ALI:** Límite Anual de Ingesta.

**AMD:** Actividad Mínima Detectable

**HC:** Herramienta Computacional

**GUI:** Interfaz Gráfica de Usuario

**Ba-133:** fuente de Bario 133

**LEHR:** Energía baja – alta resolución.

**MEGP:** Energía media –multipropósito.

**HEGP:** Energía alta – propósito general.

**A(O):** Actividad Inicial

**NaI (Tl):** Yoduro de sodio dopado con talio.

**m(t):** Fracción de Incorporación Retenida en el Tiempo.

**I:** Actividad Incorporada.

**E(50):** Dosis efectiva comprometida a 50 años.

**H(10):**Dosis externa a una distancia de 10 mm en piel.

**E:** Dosis efectiva

## BIBLIOGRAFÍA

**A.Desgrez, J.L.Morretti, J.Robert, J.M. Vinot. 1980.** *compendio de medicina nuclear- primera edición.* madrid : ac. libros científicos y técnicos, 1980. pág. 191.

A RODRÍGUEZ-LAGUNA, E ESTRADA-LOBATO, ME BRANDAN, L.M., 2010. Vigilancia de incorporaciones de  $^{131}\text{I}$  y estimación de dosis efectiva comprometida en el personal de un servicio de medicina nuclear. , vol. 11, no. 50, pp. 43-54.

ALLAUCA ORTEGA, E.A., 2018. “*Determinación de la dosis absorbida acumulada en pacientes con cáncer diferenciado de tiroides que reciben yodo 131 en el área de medicina nuclear del hospital de especialidades «Teodoro Maldonado Carbo» iess – Guayaquil*” [en línea]. S.l.: ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS. [Consulta: 17 junio 2019]. Disponible en: <http://dspace.espoch.edu.ec/bitstream/123456789/8367/1/86T00058.pdf>.

ÁNGELES MARTÍN-ALMENDRA, M., 2016. Estructura y función de la glándula tiroides = Structure and function of the thyroid gland. 7] *Rev. ORL* [en línea], vol. 7, no. 2, pp. 7-16. DOI 10.14201/orl2016s2.14724. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.14201/orl2016s2.14724>.

ARANCIBIA Z, G., NIEDMANN E, J.P. y ORTEGA T., D., 2002. Ultrasonografía de tiroides. *Revista chilena de radiología* [en línea], vol. 8, no. 3, pp. 101-106. [Consulta: 26 junio 2019]. ISSN 0717-9308. DOI 10.4067/S0717-93082002000300003. Disponible en: [http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0717-93082002000300003&lng=en&nrm=iso&tlng=en](http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0717-93082002000300003&lng=en&nrm=iso&tlng=en).

BERTELLI, L., MELO, D.R., LIPSZTEIN, J. y CRUZ-SUAREZ, R., 2008a. AIDE: INTERNAL DOSIMETRY SOFTWARE. *Radiation Protection Dosimetry*, ISSN 01448420. DOI 10.1093/rpd/ncn059.

BERTELLI, L., MELO, D.R., LIPSZTEIN, J. y CRUZ-SUAREZ, R., 2008b. AIDE: Internal dosimetry software. *Radiation Protection Dosimetry*, vol. 130, no. 3, pp. 358-367. ISSN 01448420. DOI 10.1093/rpd/ncn059.

CAJAS ROJAS, D.Y., 2018. *Implementación de un método de valoración de  $^{131}\text{I}$  incorporado por el personal ocupacionalmente expuesto (poe) del departamento de medicina nuclear del hospital carlos andrade marín (hcam), mediante dosimetría interna con la gammacámara h3000ww infinia hawkeye Gp3* [en línea]. S.l.: ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS - ESCUELA DE FÍSICA Y MATEMÁTICA. [Consulta: 17 junio 2019]. Disponible en:

<http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/8361/1/86T00052.pdf>.

CAMILO, J. y RAMOS, O., 2016. Evaluación de dosis por incorporación de radionucleídos: propuesta de base de datos y de un software para medicina nuclear. [en línea]. S.l.: [Consulta: 19 diciembre 2018]. Disponible en: [http://bdigital.unal.edu.co/55914/1/Tesis\\_PhD\\_JCOR\\_2017.pdf](http://bdigital.unal.edu.co/55914/1/Tesis_PhD_JCOR_2017.pdf).

CARRASCAL, E.P.R., 2009. *Análisis de la influencia de parámetros radiológicos relacionados con la exposición interna de los trabajadores de medicina nuclear con <sup>131</sup>I*. S.l.: s.n. ISBN 9783319401485.

DIEGO ORLANDO BARRAGÁN GUERRERO, 2008. *Manual de interfaz gráfica de usuario en matlab. Parte I* [en línea]. primera ed. S.l.: Diego Orlando Barragán Guerrero. Disponible en: <http://www.matpic.com>.

ECKERMAN, K., HARRISON, J., MENZEL, H.-G. y CLEMENT, C.H., 2013. ICRP Publication 119: Compendium of dose coefficients based on ICRP publication 60. *Annals of the ICRP* [en línea], vol. 42, no. 4, pp. e1-e130. [Consulta: 19 diciembre 2018]. ISSN 0146-6453. DOI 10.1016/J.ICRP.2013.05.003. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0146645313000110>.

ECKERMAN, K., HARRISON, J., MENZEL, H.G. y CLEMENT, C.H., 2012. ICRP Publication 119: Compendium of Dose Coefficients based on ICRP Publication 60. *Annals of the ICRP* [en línea], vol. 41, no. SUPPL1, pp. 1-130. ISSN 01466453. DOI 10.1016/j.icrp.2012.06.038. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.icrp.2012.06.038>.

F. PAQUET, G. ETHERINGTON, M.R. BAILEY, R.W. LEGGETT, J. LIPSZTEIN, W. BOLCH, K.F. ECKERMAN, J.D.H., 2015. *Annals of the ICRP*, vol. 44, no. 2, pp. 1-188.

IAEA, 2004. Methods for Assessing Occupational Radiation Doses Due to Intakes of Radionuclides. *Safety Reports Series*, vol. 37, pp. 124.

ILLANES, L. y ETCHEVERRY, E., 2016. *Física de la medicina nuclear*. S.l.: s.n.

INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY, 1999. Safety Standards Assessment of Occupational Exposure Due to External Sources of Radiation. ,

J.A. LECUNA, L.I. CARRIZALES, B.M.D., 2016. ESTIMACIÓN DE LA DOSIS EFECTIVA POR CONTAMINACIÓN INTERNA EN TRABAJADORES OCUPACIONALMENTE EXPUESTOS A FUENTES ABIERTAS DE <sup>131</sup>I EN TRATAMIENTOS DE TIROIDES. *latinoam. fís. méd.*,

LENNTECH, 2017. Yodo (I): Propiedades químicas, efectos sobre la salud y el medio



ambiente. [en línea]. [Consulta: 19 febrero 2019]. Disponible en: <https://www.lenntech.es/periodica/elementos/i.htm>.

LUGO, F.R., 2012. *Implementación del control de contaminación interna con I-131 en trabajadores ocupacionalmente expuestos*. S.l.: UNIVERSIDAD CENTRAL «MARTA ABREL» DE LAS VILLAS.

M.R.BAILEY (RADIOLOGICAL NATIONAL BOARD, C., 1994. THE NEW ICRP MODEL FOR THE RESPIRATORY TRACT. , no. VOL. 53, pp. pag. 107-114.

MATHWORKS, [sin fecha]. MATLAB GUI - MATLAB & Simulink. [en línea]. [Consulta: 27 junio 2019]. Disponible en: <https://www.mathworks.com/discovery/matlab-gui.html>.

METROLOGÍA, L. De, IONIZANTES, D.R., ESPAÑOLA, S. y MÉDICA, D.F., [sin fecha]. Protocolo para la calibración y el uso de activímetros. *Medicina*, pp. 1-44.

MONTOZA AGUADO, M., DELGADO GARCÍA, A., RAMÍREZ NAVARRO, A., SALGADO GARCÍA, C., MUROS DE FUENTES, M.A., ORTEGA LOZANO, S., BELLÓN GUARDIA, M.E. y LLAMAS ELVIRA, J.M., 2004. Control de calidad de activímetros. *Revista Española de Medicina Nuclear* [en línea], vol. 23, no. 6, pp. 434-443. [Consulta: 26 junio 2019]. ISSN 0212-6982. DOI 10.1016/S0212-6982(04)72336-8. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0212698204723368>.

NUÑEZ, P.N., 2017. *ESTUDIO DE LA PRÁCTICA DE TRABAJADORES OCUPACIONALMENTE EXPUESTOS DE UN SERVICIO DE MEDICINA NUCLEAR DESDE LA PERSPECTIVA DE SU EXPOSICIÓN INTERNA A LA RADIACIÓN IONIZANTE: PROTOCOLO DE ESTIMACIÓN CON GAMMA-CÁMARAS*. S.l.: PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA - FACULTAD DE CIENCIAS.

OIEA, 2004. Protección radiológica y seguridad de las fuentes de radiación: Normas básicas internacionales de seguridad\_ OIEA. [en línea], pp. 1-100. Disponible en: [http://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/Pub1077s\\_web.pdf](http://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/Pub1077s_web.pdf).

ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA, 2016. *Normas de seguridad del OIEA. Protección radiológica y seguridad de las fuentes de radiación: Normas básicas internacionales de seguridad. Requisitos de Seguridad Generales. Parte 3* [en línea]. S.l.: s.n. [Consulta: 4 enero 2019]. ISBN 9789203430104. Disponible en: <http://www-ns.iaea.org/standards/>.

ORLANDO, D. y GUERRERO, B., 2007. MANUAL DE INTERFAZ GRÁFICA DE USUARIO EN MATLAB. [en línea]. S.l.: [Consulta: 27 junio 2019]. Disponible en:

[https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/10740/19/%255Bmatlab%255D\\_MATLAB\\_GUIDE.pdf](https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/10740/19/%255Bmatlab%255D_MATLAB_GUIDE.pdf).

PANG, H.-F., HWANG, W.-S. y CHIU, J.-H., 2013. The ICRP 66 Internal Radiation Exposure Control and Dose Evaluation of The Institute of Nuclear Energy Research. . S.l.:

PROTECCIÓN RADIOLÓGICA - CHILE y C., S., 2012. Protección Radiológica - Chile. [en línea]. [Consulta: 12 agosto 2019]. Disponible en: <https://proteccionradiologicachile.wordpress.com/2014/08/11/que-es-un-contador-geiger/>.

Publicación 103 Las Recomendaciones 2007 de la Comisión Internacional de Protección Radiológica. , 2007. S.l.:

*REGLAMENTO-DE-SEGURIDAD-RADIOLOGICA.pdf*, 1979. 1979. S.l.: s.n.

SESCAM, 2010. *Normas de trabajo seguro para trabajadores expuestos a radiaciones ionizantes II. N° 26* [en línea]. 2010. S.l.: s.n. Disponible en: [http://sescam.castillalamancha.es/sites/sescam.castillalamancha.es/files/documentos/pdf/20131015/26\\_-\\_normas\\_de\\_trabajo\\_seguro\\_-\\_trabajadores\\_expuestos\\_a\\_radiac\\_ionizantes\\_ii.pdf](http://sescam.castillalamancha.es/sites/sescam.castillalamancha.es/files/documentos/pdf/20131015/26_-_normas_de_trabajo_seguro_-_trabajadores_expuestos_a_radiac_ionizantes_ii.pdf).

## ANEXOS.

### Anexo A: Criterio de decisión para monitoreo individual

Se considera el siguiente factor para determinar si existe la necesidad de implementar un Programa de Monitoreo con base en la dosis anual efectiva comprometida, sabiendo que, si esta supera el 1mSv es necesaria su implementación.

		2.4.1. Criterio de decisión para monitoreo individual		
		$dj = 10 \cdot Aj \cdot e(g)j.ing + fhs + fps$	1,406871767	
<b>Medida de protección</b>	<b>Factores de seguridad referentes a la protección f<sub>ps</sub></b>		<b>Factores de seguridad referentes a la manipulación f<sub>h</sub></b>	
Operaciones en mesa abierta	1		Almacenamiento (solución madre)	0,01
Operaciones en cámaras de extracción	0,1		Operaciones húmedas muy simples	0,1
Operaciones en cámara de guantes	0,01		Operaciones químicas normales	1
			Húmedales operaciones complejas,	10
Aj	1500 Bq		con el riesgo de derramar la solución	10
			Manejo de compuestos solubles	100

Realizado por: Sierra Carmen, 2019.

En el resultado se puede observar que es superior a 1 mSv, por tanto, se emplea una metodología adecuada para el calculo de dosis efectiva comprometida mediante el desarrollo de una Herramienta computacional.

**Anexo B:** Fuentes de referencia para prueba de linealidad del activímetro Atomalab

Se determina la cantidad de actividad que debe estar presente en la muestra con la finalidad de realizar la determinación de la eficiencia de detección del equipo para no tener datos artificiales,

sabiendo que las muestras se denotan como: m1 y m2, se realiza el cálculo de linealidad.

Actividad		
Muestra (n)		TIEMPO
Teórica	Experimental	HORAS
1053,00	1053	0
909,75	888	1,27
810,81	836	2,27
722,62	745	3,27
644,03	663	4,27
573,99	590	5,27
511,56	527	6,27
455,92	469	7,27
406,34	417	8,27
362,14	372	9,27
322,76	331	10,27
287,66	295	11,27
256,37	262	12,27
228,49	234	13,27
203,64	208	14,27
181,49	185,4	15,27
161,75	164,7	16,27
144,16	146,4	17,27
128,48	130,1	18,27
112,29	109,9	19,44
77,95	75,5	22,61
69,47	72,8	23,61
61,92	64,4	24,61
52,58	50,9	26,03
46,86	46,3	27,03
41,76	42,7	28,03
37,22	37,6	29,03
33,17	33,5	30,03
29,56	29,5	31,03
26,35	25,9	32,03
23,48	23	33,03
20,93	20,1	34,03
18,65	5,6	35,03

Ln (n)	
Teórica	Experimental
6,95939851	6,959398512
6,81316979	6,788971743
6,69802906	6,728628613
6,58288833	6,613384218
6,4677476	6,49677499
6,35260688	6,380122537
6,23746615	6,267200549
6,12232542	6,150602768
6,00718469	6,033086222
5,89204397	5,918893854
5,77690324	5,802118375
5,66176251	5,686975356
5,54662178	5,568344504
5,43148106	5,455321115
5,31634033	5,33753808
5,2011996	5,222515653
5,08605887	5,104125637
4,97091815	4,986342602
4,85577742	4,868303386
4,72106277	4,699570861
4,35606666	4,324132656
4,24092593	4,287715955
4,1257852	4,165113633
3,96228537	3,929862924
3,84714464	3,835141961
3,73200392	3,75419892
3,61686319	3,62700405
3,50172246	3,511545439
3,38658173	3,384390263
3,271441	3,254242969
3,15630028	3,135494216
3,04115955	3,000719815
2,92601882	1,722766598

**Anexo C: Certificado de fonte de referencia**



COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR - CNEN  
INSTITUTO DE RADIOPROTEÇÃO E DOSIMETRIA - IRD  
LABORATÓRIO NACIONAL DE METROLOGIA DAS RADIAÇÕES IONIZANTES - LNMRI  
LABORATÓRIO DESIGNADO PELO INMETRO

**CERTIFICADO DE CALIBRAÇÃO**

**RADIONUCLÍDEO:**  $^{133}\text{Ba}$

**Destinatário:** CNEN/IRD  
**Endereço:** Av. Salvador Allende s/nº  
Rio de Janeiro - RJ - CEP: 22783-127

**Nº Fonte:** 95L13  
**Nº Certificado:** C/137/A13

ATIVIDADE/MASSA	20,201 kBq/g
ATIVIDADE TOTAL	56,001 kBq
DATA DE REFERÊNCIA	05/08/2013 - 12 h (Hora Oficial de Brasília)
MEIA - VIDA	$(10,540 \pm 0,006) \text{ a}$
ORIGEM DA SOLUÇÃO-MÃE	IPL
TIPO DA FONTE	Líquida em ampola de vidro.
MASSA	2,772197 g
MEIO	HCl 0,1 mol/L
IMPUREZAS	Não detectadas neste sistema de medição
INCERTEZA	Tipo A: 0,78 % Tipo B: 0,49 % Expandida: 1,8 % $k = 2$
MÉTODO DE MEDIÇÃO	Comparativo padrão-amostra em câmara de ionização
DATA DA CALIBRAÇÃO	05/08/2013 - 12 h (Hora Oficial de Brasília).
RASTREABILIDADE	Os Sistemas de Medição utilizados no LNMRI estão calibrados com padrões rastreados, implicitamente, ao Sistema Internacional de Referência ou a Laboratórios Primários, por meio de programas interlaboratoriais de comparação de atividade de radionuclídeos.
OBSERVAÇÕES	Referência de meia-vida: <a href="http://www.nucleide.org/DDEP_WG/DDEPdata.htm">http://www.nucleide.org/DDEP_WG/DDEPdata.htm</a> em 03.08.2012

O resultado apresentado refere-se à fonte calibrada e a reprodução deste certificado somente é permitida na sua totalidade.

Rio de Janeiro, 14 de agosto de 2013.

  
**Akira Iwahara**  
Responsável pela Calibração  
DIMET-LNMRI

  
**José Ubiratan Delgado**  
Chefe da Divisão de Metrologia de Radionuclídeos  
DIMET-LNMRI

Pg. 1/2

ISODOC-PF1- 005 - Rev. 05

Av. Salvador Allende, s/nº - C.P. 37750 - CEP 22780-160 - Rio de Janeiro - Brasil  
Tel/Fax: (21) 2173-2875 Corréio eletrônico: padroes@ird.gov.br

## INCERTEZAS

**Tipo A:** São aquelas estimadas aplicando-se métodos estatísticos em uma série de  $n$  medições ( $u_i$ );

$$u_A = \sqrt{\sum u_i^2} \quad (i = 1, n)$$

**Tipo B:** São aquelas estimadas de  $m$  valores obtidos por outros métodos, não estatísticos, associados ao sistema de medição ( $u_j$ );

$$u_B = \sqrt{\sum u_j^2} \quad (j = 1, m)$$

- Obs: a) Na determinação de  $u_j$ , o divisor é considerado conforme a distribuição adotada;
- b) Os fatores de propagação de incerteza são considerados na determinação de  $u_i$  e  $u_j$ .

A **INCERTEZA COMBINADA** ( $u_C$ ) é obtida utilizando-se a raiz quadrada da soma das variâncias das incertezas do Tipo A e do Tipo B:

$$u_C = \sqrt{u_A^2 + u_B^2}$$

O valor da **incerteza total expandida** é obtido por:

$$U = k u_C$$

Para um intervalo de confiança de 68,26 % :

$$k = 1$$

Para um intervalo de confiança de 95,45 % :

$$k = 2$$

O valor da incerteza total expandida, expresso em percentual do valor da Atividade A, na data de referência, é dado por:

$$U(\%) = \left( \frac{U}{A} \right) \cdot 100\%$$

## Anexo D: Datos de fabricante- colimadores de gammacámara



Product Data - Release 2.5

Page 10

62006

# Infinia®

## 3/8" or 1" Free-Geometry Dual-Detector Cameras

### Optional Hawkeye® Hybrid NM/CT

GE Healthcare:  
Milwaukee, WI, USA, Fax: +1 414 544 3384

GE Healthcare -Asia:  
Hong-Kong Fax: +852 210 062 92  
Tokyo, Japan, Fax: +81 3 3223 8560

GE Healthcare -Europe:  
Buc, France, Fax: +33 1 30 70 98 55

Internet Web Site <http://www.gehealthcare.com>

### Infinia and Infinia<sup>VC</sup> Parallel Hole Collimators

DESCRIPTION	NAME	CATALOG NUMBER (a)	RECOMMENDED ISOTOPE	FIELD OF VIEW (mm) (b)	CALCULATED PENETRATION (%)	SYSTEM SENSITIVITY (cps/μCi) @100 mm 3/8" / 1" Per Detector (c)	SYSTEM SENSITIVITY (cps/MBq) @100 mm 3/8" / 1" Per Detector (c)	SYSTEM RESOLUTION FWHM (mm) @100mm 3/8" / 1" (d)	TYPE OF HOLE	HOLE DIAMETER (mm)	SEPTAL THICKNESS (mm)	HOLE LENGTH (mm)	# OF HOLES	WEIGHT (kg / lb) lpcs
Low Energy High Resolution	LEHR	H2505TJ	Tl-201 / Tc99m Studies	540 x 400	0.3 (Tc99m)	160 / 171(Tc99m)	72 / 77	7.4 / 8.1	hex	1.5	0.2	35	86300	60 / 132
Low Energy General Purpose	LEGP	H2505TH	Tl-201 / Tc99m Studies	540 x 400	0.8 (Tc99m)	270 / 290(Tc99m)	121 / 130	9.0 / 9.8	hex	1.9	0.2	35	56560	50 / 110
Extended Low Energy General Purpose	ELEGP	H2505TR	I-123 / Kr-81 Studies	540 x 400	0.3 (I123) 2.3 (Kr81)	320 / 344 (Tc99m) 224 / 245 (I123)	144 / 155 (Tc99m) 101 / 110 (I123)	10.3 / 11.2	hex	2.5	0.4	40	31000	62 / 136
Medium Energy General Purpose	MEGP	H2505TK	Ga-67 / In-111 studies	540 x 400	2.0 (Ga67)	144 / 163 (Ga67)	65 / 73	9.4 / 11.5	hex	3.0	1.05	58	15210	103 / 227
High Energy General Purpose	HEGP	H2505TL	I-131 studies	540 x 400	2.0 (I131)	97 / 160 (I131)	43 / 72	12.0 / 13.0	hex	4.0	1.8	66	7410	131 / 289
Ultra High Energy High Resolution	UHEHR	H2505TP	Tc99m and F-18 studies	540 x 400	0.1 @ Tc99m 4.1 @ F-18	For 1" detector 57 @ Tc99m 150 @ F-18	For 1" detector 25 @ Tc99m 67 @ F-18	For 1" detector 8.6 @ Tc99m 11.8 @ F-18	hex	3.0	1.9	80	7790	171 / 376

(a) Catalog numbers include 2 collimators for changing and storage.

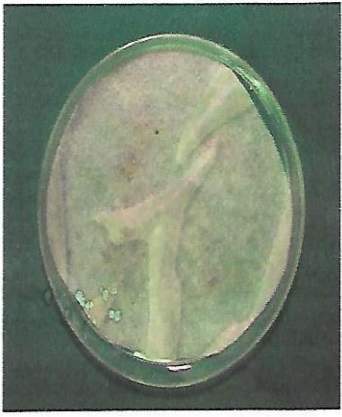
(b) Value quoted is the collimator field of view.

(c) The values quoted are with an appropriate isotope for each collimator (with a 20% window for all collimators). Sensitivity is measured with a tolerance of ±10%.

(d) Tolerance of ±4% on resolution.



**Anexo E:** Protocolo para cálculo de sensibilidad.

CÓDIGO	GPL13
NOMBRE	SENSIBILIDAD PLANAR
FINALIDAD	La sensibilidad planar determina el número de cuentas que es capaz de detectar el equipo por unidad de actividad. Está relacionado con la eficiencia del mismo.
CALIFICACIÓN	Esencial
TIPO Y FRECUENCIA	Aceptación (para todos los colimadores) Constancia: mensual (para el colimador empleado habitualmente). Tras intervenciones que puedan afectar a la calibración del detector.
PERSONAL	Técnico-radiofísico
MATERIAL	<p>Fuente de actividad bien determinada, dentro de una cápsula de Petri o maniquí equivalente, ambos con un diámetro superior a los 15 cm. Para minimizar la atenuación en la fuente y su contenedor la fuente debe ser lo más plana posible (un espesor de fuente más contenedor inferior a 3 mm). Para ello se puede depositar la actividad sobre una gasa o sobre un papel secante, en el interior de la placa (Figura 1).</p>  <p>Figura 1. Placa de Petri con la actividad de la prueba de sensibilidad depositada sobre papel secante.</p> <p>La actividad debe estar bien determinada, del orden de 74 MBq (2 mCi) en el caso de <math>^{99m}\text{Tc}</math> diluidos en un volumen de unos 30 cm<sup>3</sup> de agua. La prueba se ha de realizar para los colimadores utilizados habitualmente en la práctica clínica.</p>

PROCEDIMIENTO	
ADQUISICIÓN DE DATOS	Se rellena el maniquí (tipo placa Petri) con la actividad, que irá depositada sobre un fondo de papel absorbente en el interior de la placa. Se debe conocer con exactitud la actividad de la fuente. Para ello se debe tener en cuenta la actividad del residuo que queda en la jeringa después de rellenar el maniquí. Se anota la hora.



	<p>Sensibilidad planar en contacto: se coloca el maniquí sobre el colimador del cabezal. Se realiza una adquisición planar y se anota la hora de adquisición. Se realizan adquisiciones colocando la fuente en el centro del colimador y en el centro de cada uno de los cuatro cuadrantes, anotando siempre la hora de adquisición. Se debe realizar también una adquisición del fondo (sin fuente) y restarlo.</p> <p>Sensibilidad planar a 10 cm sin dispersión: se coloca el maniquí a 10 cm del colimador, en el centro del CCVU. Para ello se utilizará el soporte adecuado. Un soporte fácil de conseguir es una caja vacía de cartón de 10 cm de altura o un bloque de poliexpan de 10 cm de grosor, colocándolo en el centro del colimador.</p> <p>Realizar una adquisición anotando la hora de adquisición. Si se quiere comparar con la hoja de especificaciones, habrá que reproducir las condiciones en las que se haya medido este parámetro. Se debe realizar también una adquisición del fondo (sin fuente) y restarlo. Además debe tenerse en cuenta el decaimiento de la fuente durante el tiempo que dura la adquisición, expresión que aparece en las normas IEC y NEMA.</p> <p>Se repite el proceso para todos los cabezales.</p> <p>Parámetros de adquisición:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Radionucleido: el adecuado al colimador utilizado, <math>^{99m}\text{Tc}</math> para baja energía, <math>^{131}\text{I}</math> para alta energía, <math>^{111}\text{In}</math> o <math>^{67}\text{Ga}</math> para media energía. (Habitualmente será suficiente con 111 MBq (3 mCi).</li> <li>• Tamaño de matriz: <math>512 \times 512</math> (o la máxima utilizada) .</li> <li>• Nº de cuentas: 2500kc</li> <li>• Tasa de cuentas: menor de 20 kcps</li> <li>• Ventana de adquisición: la usada clínicamente.</li> <li>• Obtener, a su vez, una imagen de fondo para cada cabezal durante un mínimo de 1 min.</li> </ul>
PROCESADO Y ANÁLISIS DE RESULTADOS	<p>Las sensibilidades de detección se obtienen dividiendo el valor de conteo (descontado el conteo del fondo) entre la actividad de la fuente (corregida por decaimiento) y se analiza el promedio y la variación entre ellas para cada detector. Además, si el equipo dispone de varios detectores, se analizará la variación de los valores de la sensibilidad entre ellos.</p> <p>Para cada una de las adquisiciones se calcula:</p> $S_i \text{ (cps/Bq)} = \frac{\text{cuentas}_i / \text{tiempo adquisición}_i}{\text{actividad}_i}$ <p>Para calcular la actividad en contacto se obtiene la media de los 4 valores obtenidos.</p>
TOLERANCIAS	<p>Se comparará el valor obtenido con el especificado por el fabricante. El valor obtenido para cada colimador debe ser superior al 80% del especificado por el fabricante.</p> <p>La diferencia entre las 5 medidas en contacto deben ser menores del 2%.</p> <p>En gammacámaras con más de un cabezal se comprobará que la diferencia relativa entre cabezales es inferior al 5%.</p>
TIEMPO ESTIMADO	30 min por cada cabezal detector, dependiendo de la actividad de la fuente.

OBSERVACIONES	Dado que la sensibilidad depende del colimador empleado, los valores obtenidos deben compararse con los valores que dan los fabricantes en sus especificaciones. Esta prueba, en principio, es independiente de la matriz utilizada ya que sólo interesa el número de cuentas. No obstante, en algunas cámaras no es posible parar la adquisición por "overflow" en el número de cuentas de una celda por lo que, como medida de seguridad, es mejor emplear el mayor número posible de celdas.
---------------	---

## BIBLIOGRAFÍA

IAEA. Quality control of nuclear medicine instruments. IAEA-TECDOC602. Vienna: International Atomic Energy Agency; 1991.

IAEA. Quality Assurance for SPECT systems. IAEA-Pub-1394. Vienna: International Atomic Energy Agency; 2009.

IEC. Medical electrical equipment - Characteristics and test conditions of radionuclide imaging devices - Anger type gamma cameras. IEC International Standard 60789. Ginebra: International Electrotechnical Commission; 2005.

IEC. Nuclear Medicine Instrumentation Routine Tests. IEC International Standard TR61948-2. Ginebra: International Electrotechnical Commission; 2001.

NEMA. Performance measurements of gamma cameras. NEMA Standards Publication NU1-2007. Rosslyn: National Electrical Manufacturers Association; 2007.

Rova A., Celler A., Hamarneh G. Development of NEMA based software for gamma camera quality control. Journal of digital imaging 21(2): 243-255, 2008.

SEFM, SEMN, SEPR. Protocolo nacional de control de calidad en la instrumentación en medicina nuclear. Téllez de Cepeda M. (Coordinadora). Huesca, España: Sociedad Española de Física Médica, Sociedad Española de Medicina Nuclear, Sociedad Española de Protección Radiológica; 1999.

## Anexo F: Hojas de cálculo almacenada

La HC almacena datos en archivos txt como se muestra a continuación y muestra los resultados en una tabla diseñada en el mismo software.

*Hoja de almacenamiento txt.*

2019/ 09/15 TIROIDE maria pazmiño □ 7410.4167 8.1515e-05 5.0001

2019/ 09/15 TIROIDE maria pazmiño □ 7410.4167 8.1515e-05 5.0001

2019/ 09/ 17 ORINA lucia toapanta □ 17719.9405 0.00038984 3.0004

**Realizado por:** Sierra Carmen, 2019.

*Tabla de resultados del programa:*

RESULTADOS POE								
	FECHA	MUESTRA DE ANÁLISIS	NOMBRE	APELLIDO	FCI131	I	e(50)	E(50)
1	2019/09/05	TIROIDE	licenciada	2	2.5998	666808.7716	0.0073349	3.0073
2	2019/09/05	TIROIDE	licenciada	2	2.5998	666808.7716	0.0073349	3.0073
3	2019/09/05	TIROIDE	licenciada	2	2.5998	666808.7716	0.0073349	3.0073

**Realizado por:** Sierra Carmen, 2019.

**Anexo G:** Valores m(t) dados en días para orina y tiroides respectivamente, obtenidos del software AIDE

Que se utilizan de acuerdo a la necesidad del área de trabajo.

Time (días)	Actividad (Bq)	
	Acumulación en orina	Acumulación a las 24h
1	2.81E-01	2.81E-01
2	2.81E-01	2.31E-02
3	2.59E-01	1.38E-03
4	2.38E-01	1.46E-04
5	2.18E-01	9.06E-05
6	2.00E-01	9.77E-05
7	1.84E-01	1.05E-04
8	1.69E-01	1.10E-04
9	1.55E-01	1.12E-04
10	1.42E-01	1.12E-04
15	9.29E-02	9.87E-05
20	6.07E-02	7.56E-05
25	3.97E-02	5.40E-05

**Realizado por:** Sierra Carmen, 2019.

Date: 8/6/2019, 14:27:22

Model: I, Isotope: I-131  
 Observ.: Iodine as in ICRP-67  
 Subject: Standard Worker (Nose Breather)  
 Intake: Inhalation, Single  
 Element: 1 (Series with 1 element(s))  
 Initial ou Daily Activity: 1.000E+00 Bq  
 Inhalation: Respiratory Tract: ICRP-66  
 Compound: Type F  
 AMAD (um): 5.000E+00  
 Alimentary Tract Model: ICRP-30 GI Tract  
 GI Tract Absorption Factor: F1 = 1.000E+00

Activity (Bq) X Time (Days)

Time	Accumulat Urine	24-Hour Urine	Accumulat Feces	24-Hour Feces
.100	2.50E-02	0.00E+00	6.74E-06	0.00E+00
.200	7.89E-02	0.00E+00	3.75E-05	0.00E+00
.300	1.32E-01	0.00E+00	8.98E-05	0.00E+00
.400	1.76E-01	0.00E+00	1.57E-04	0.00E+00
.500	2.09E-01	0.00E+00	2.35E-04	0.00E+00
.600	2.34E-01	0.00E+00	3.18E-04	0.00E+00
.700	2.52E-01	0.00E+00	4.03E-04	0.00E+00
.800	2.65E-01	0.00E+00	4.89E-04	0.00E+00
.900	2.75E-01	0.00E+00	5.73E-04	0.00E+00
1.000	2.81E-01	2.81E-01	6.54E-04	6.54E-04
2.000	2.81E-01	2.31E-02	1.21E-03	6.10E-04
3.000	2.59E-01	1.38E-03	1.38E-03	2.73E-04

4.000	2.38E-01	1.46E-04	1.38E-03	1.14E-04
5.000	2.18E-01	9.06E-05	1.33E-03	5.65E-05
6.000	2.00E-01	9.77E-05	1.25E-03	3.88E-05
7.000	1.84E-01	1.05E-04	1.19E-03	3.47E-05
8.000	1.69E-01	1.10E-04	1.12E-03	3.46E-05
9.000	1.55E-01	1.12E-04	1.07E-03	3.53E-05
10.000	1.42E-01	1.12E-04	1.01E-03	3.59E-05
11.000	1.31E-01	1.11E-04	9.66E-04	3.61E-05
12.000	1.20E-01	1.09E-04	9.22E-04	3.58E-05
13.000	1.10E-01	1.06E-04	8.81E-04	3.52E-05
14.000	1.01E-01	1.03E-04	8.42E-04	3.43E-05
15.000	9.29E-02	9.87E-05	8.06E-04	3.32E-05
16.000	8.53E-02	9.43E-05	7.71E-04	3.19E-05
17.000	7.83E-02	8.97E-05	7.38E-04	3.05E-05
18.000	7.19E-02	8.50E-05	7.06E-04	2.91E-05
19.000	6.61E-02	8.03E-05	6.75E-04	2.75E-05
20.000	6.07E-02	7.56E-05	6.46E-04	2.60E-05
21.000	5.58E-02	7.10E-05	6.17E-04	2.45E-05
22.000	5.12E-02	6.65E-05	5.89E-04	2.30E-05
23.000	4.70E-02	6.22E-05	5.62E-04	2.16E-05
24.000	4.32E-02	5.80E-05	5.36E-04	2.02E-05
25.000	3.97E-02	5.40E-05	5.10E-04	1.89E-05
26.000	3.65E-02	5.03E-05	4.86E-04	1.76E-05
27.000	3.35E-02	4.67E-05	4.62E-04	1.64E-05
28.000	3.08E-02	4.33E-05	4.39E-04	1.52E-05
29.000	2.83E-02	4.01E-05	4.17E-04	1.41E-05
30.000	2.60E-02	3.71E-05	3.95E-04	1.31E-05
35.000	1.70E-02	2.48E-05	3.00E-04	8.82E-06

**Fuente:** (Bertelli et al. 2008b)

Activity (Bq) X Time (Days)

Totals for Selected Organs or Tissues

Time	Thyroid	U.BladCont	Other Tiss
.100	2.74E-02	3.90E-02	1.08E-05
.200	5.42E-02	4.76E-02	4.62E-05
.300	7.45E-02	4.18E-02	1.01E-04
.400	8.95E-02	3.32E-02	1.71E-04
.500	1.00E-01	2.55E-02	2.50E-04
.600	1.08E-01	1.94E-02	3.37E-04
.700	1.14E-01	1.46E-02	4.28E-04
.800	1.18E-01	1.10E-02	5.22E-04
.900	1.21E-01	8.25E-03	6.17E-04
1.000	1.22E-01	6.20E-03	7.12E-04
2.000	1.19E-01	3.60E-04	1.60E-03
3.000	1.08E-01	2.52E-05	2.30E-03
4.000	9.87E-02	7.88E-06	2.83E-03
5.000	8.98E-02	7.98E-06	3.21E-03
6.000	8.17E-02	8.73E-06	3.47E-03
7.000	7.44E-02	9.26E-06	3.63E-03
8.000	6.77E-02	9.57E-06	3.72E-03
9.000	6.16E-02	9.69E-06	3.74E-03
10.000	5.61E-02	9.67E-06	3.71E-03
11.000	5.11E-02	9.54E-06	3.65E-03
12.000	4.65E-02	9.33E-06	3.55E-03
13.000	4.23E-02	9.04E-06	3.43E-03

14.000	3.85E-02	8.71E-06	3.30E-03
15.000	3.51E-02	8.35E-06	3.15E-03
16.000	3.20E-02	7.96E-06	3.00E-03
17.000	2.91E-02	7.55E-06	2.84E-03
18.000	2.65E-02	7.15E-06	2.69E-03
19.000	2.41E-02	6.74E-06	2.53E-03
20.000	2.20E-02	6.34E-06	2.38E-03
21.000	2.00E-02	5.95E-06	2.23E-03
22.000	1.82E-02	5.57E-06	2.08E-03
23.000	1.66E-02	5.20E-06	1.94E-03
24.000	1.51E-02	4.85E-06	1.81E-03
25.000	1.38E-02	4.51E-06	1.68E-03
26.000	1.26E-02	4.19E-06	1.56E-03
27.000	1.14E-02	3.89E-06	1.45E-03
28.000	1.04E-02	3.61E-06	1.34E-03
29.000	9.50E-03	3.34E-06	1.24E-03
30.000	8.66E-03	3.09E-06	1.15E-03
35.000	5.44E-03	2.07E-06	7.68E-04
40.000	3.42E-03	1.36E-06	5.05E-04

**Fuente:** (Bertelli et al. 2008b)

**Anexo H:** Cálculo sensibilidad para detectores

	Comprobación de la Sensibilidad Planar con detectores de baja energía y alta sensibilidad							
	cps		fondo	cps-fondo	cpm		Sensibilidad Cada medida	Sensibilidad promedio
<b>detector 1</b>	2205450	2205450	6676	2198774	131926440	439754,8	146,584933	731,145867
	2193370	2236010,525	6676	2186694	131201640	437338,8	145,7796	
	2235475	2300979,417	6676	2228799	133727940	445759,8	148,5866	
	2151060	2235508,951	6676	2144384	128663040	428876,8	142,958933	
	2215213	2324450,768	6676	2208537	132512220	441707,4	147,2358	
<b>PROMEDIO</b>								146,229173

Realizado por: Sierra Carmen, 2019.

Corrección con el tiempo						
tiempo de adquisición	fuelle (uCi)			Tiempos:		
<b>300</b>	3000	6H40		Medida	1	HORA
		0,08333333	0,99041915	T(172)=	6	HORAS
		0,16666667	0,98093009	LN2=	0,69314718	
		0,25	0,97153194			
		0,33333333	0,96222384	f=	0,89089872	
		0,41666667	0,95300491			

Realizado por: Sierra Carmen, 2019.

Comprobación de la Sensibilidad Planar con detectores de baja energía y alta sensibilidad							
	cps	fondo	cps-fondo	cpm		Sensibilidad Cada medida	Sensibilidad promedio
DETECTOR 2	1927938	2062338,117	6655	2055683,12	123340987	411136,623	137,045541
	1981082	2082288,213	6655	2075633,21	124537993	415126,643	138,375548
	1896469	2102431,297	6655	2095776,3	125746578	419155,259	139,71842
	1847482	2122769,236	6655	2116114,24	126966854	423222,847	141,074282
	2087955	2122769,236	6655	2116114,24	126966854	423222,847	141,074282
Promedio							139,457615

Realizado por: Sierra Carmen, 2019.

Corrección con el tiempo			
tiempo de adquisición	fuelle (uCi)	0,58333333	0,93483119
300	3000	0,66666667	0,92587471
		0,75	0,91700404
		0,83333333	0,90821836
		0,83333333	0,90821836

Realizado por: Sierra Carmen, 2019.

PORCENTAJE CON DATOS DE FABRICA	9%
PORCENTAJE ENTRE COLIMADORES	5%



**Anexo I:** Tabulación de datos en cps del POE.

## Primera adquisición (Día 1)

## Colimador 1.

Fondo	300(cps)	Tiempo de adquisición			300 (s)
Nombre del POE	Cuentas en segundos (cps)				
Licenciado 1	5390	5235	5265	5000	5300
Licenciado 2	5300	5380	5366	5060	5360
Licenciado 3	5200	5250	5367	5430	5310
Medico Nuclear	4500	3495	3280	3257	3000
Físico medico	4000	3050	3100	3093	3000
Oficial de seguridad (OSR)	5500	5405	5305	5212	5150

**Realizado por:** Sierra Carmen, 2019.

## Colimador 2.

Fondo	300(cps)	Tiempo de adquisición			300 (s)
Nombre del POE	Cuentas en segundos (cps)				
Licenciado 1	5080	5051	5135	5200	5209
Licenciado 2	5300	5380	5366	5333	5360
Licenciado 3	5301	5250	5367	5290	5310
Medico Nuclear	4500	3495	3280	3201	3100
Físico medico	4000	3050	3100	3190	3000
Oficial de seguridad (OSR)	5500	5390	5300	5208	5090

**Realizado por:** Sierra Carmen, 2019.

## Segunda adquisición (Día 2)

## Colimador 1.

Fondo	300(cps)	Tiempo de adquisición			300 (s)
Nombre del POE	Cuentas en segundos (cps)				
Licenciado 1	5530	5235	5265	5080	5300
Licenciado 2	5000	5001	4616	4560	4563
Licenciado 3	5250	5205	5167	5030	5060
Medico Nuclear	5300	5289	5260	5207	5160
Físico medico	5400	5397	5290	5109	5111
Oficial de seguridad (OSR)	5250	5165	5105	5012	5113

**Realizado por:** Sierra Carmen, 2019.

Colimador 2.

Fondo	300(cps)	Tiempo de adquisición			300 (s)
Nombre del POE	Cuentas en segundos (cps)				
Licenciado 1	5204	5045	5145	5243	5400
Licenciado 2	4970	4880	4766	4733	4690
Licenciado 3	4250	4290	3967	3904	3930
Medico Nuclear	4000	3950	3980	3914	3910
Físico medico	3567	3450	3465	3490	3590
Oficial de seguridad (OSR)	4997	4907	4980	4928	4900

**Realizado por:** Sierra Carmen, 2019.

tercera adquisición (Día 3)

Colimador 1.

Fondo	300(cps)	Tiempo de adquisición			300 (s)
Nombre del POE	Cuentas en segundos (cps)				
Licenciado 1	4390	4235	4165	4099	4179
Licenciado 2	4300	4380	4266	4293	4289
Licenciado 3	4200	4150	4267	4263	4260
Medico Nuclear	4500	4385	3280	3257	3230
Físico medico	3090	3050	3060	3093	3070
Oficial de seguridad (OSR)	4500	4495	4395	4292	42950

**Realizado por:** Sierra Carmen, 2019.

Colimador 2.

Fondo	300(cps)	Tiempo de adquisición			300 (s)
Nombre del POE	Cuentas en segundos (cps)				
Licenciado 1	4800	4590	4865	4902	4853
Licenciado 2	4000	4280	4366	4333	4200
Licenciado 3	4200	4450	4397	4390	4329
Medico Nuclear	3200	2895	2880	2701	3100
Físico medico	3700	3550	3750	3790	3760
Oficial de seguridad (OSR)	4800	4391	4200	4208	4190

**Realizado por:** Sierra Carmen, 2019.



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE  
CHIMBORAZO**  
**DIRECCIÓN DE BIBLIOTECAS Y RECURSOS  
PARA EL APRENDIZAJE Y LA INVESTIGACIÓN**  
**UNIDAD DE PROCESOS TÉCNICOS**



**REVISIÓN DE NORMAS TÉCNICAS, RESUMEN Y BIBLIOGRAFIA**

**Fecha de entrega:** 28 / 11/ 2019

<b>INFORMACIÓN DEL AUTOR/A (S)</b>
<b>Nombres – Apellidos:</b> Carmen Cecilia Sierra Usca
<b>INFORMACIÓN INSTITUCIONAL</b>
<b>Facultad:</b> Ciencias
<b>Carrera:</b> Biofísica
<b>Título a optar:</b> Biofísica
<b>f. Analista de biblioteca responsable:</b>